



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Paavo Haverinen

SUUNNATUN YLIVIRTASUOJAN
TESTAUS
IEC 60255-151 -STANDARDIN
MUKAAN

Tekniikka ja liikenne
2012

ALKUSANAT

Tämä ammattikorkeakoulututkintoon vaadittava opinnäytetyö on kirjoitettu Tekniikka ja liikenne -yksikön sähkötekniikan osastolle Vaasassa keväällä 2012.

Opinnäytetyöni tilasi ABB Oy Sähkönjakeluautomaatio-yksikön RSE-osasto, joka halusi testauttaa ATS-järjestelmällä suunnatut ylivirtasuojauslohkot IEC-standardin mukaisesti.

Ammattikorkeakoulun puolesta opinnäytetyötäni ohjasi lehtori Timo Männistö, jota haluan kiittää laadukkaasta ohjaamisesta ja hyvistä neuvoista.

Yrityksen puolesta opinnäytetyöohjaajanani toimi diplomi-insinööri Timo Myllymäki, jota haluan kiittää siitä, että hän ohjasi ja neuvoi hankalissakin tilanteissa. Kiitokset kuuluvat myös RSE-osaston esimiehelle insinööri Petri Hovilalle, joka antoi mahdollisuuden opinnäytetyön tekoon.

Vaasassa 27.4.2012

Paavo Haverinen

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Paavo Haverinen
Opinnäytetyön nimi	Suunnatun ylivirtasuojan testaus IEC 60255-151 -standardin mukaan
Vuosi	2012
Kieli	suomi
Sivumäärä	64 + 5 liitettä
Ohjaaja	Timo Männistö

Opinnäytetyön aiheena oli syventyä vuonna 2009 julkaistuun IEC 60255-151 -standardiin, joka käsitteli mittaavien releiden ja suojauslaitteiden toiminnallisia vaatimuksia yli- ja alivirtasuojaukseen. Tutkimisongelma oli, että kuinka testausmenetelmien suorittaminen tulisi tehdä suunnatulle ylivirtalohkolle IEC 60255-151 -standardin mukaisesti. Testiympäristöksi valittiin ABB:n sisäinen testausjärjestelmä ATS, koska se oli valmis testiympäristö, ja sen toiminnallisuus oli parempi kuin muissa mahdollisissa ratkaisuissa. Tutkimuksen tavoitteena oli laatia vaaditut testifunktiot ATS-järjestelmään ja testata REF615-johdonsuojareleen suunnatut ylivirtalohkot.

Teoreettiseksi viitekehykseksi muodostui edellä mainittu standardi, sekä suojareleen manuaalit. Keskeisiä käsitteitä ovat standardin sisältö, suojareleen toiminta sekä ATS-järjestelmän toiminnallisuus. Keskeisimpiä tehtäviä olivat standardin oikein lukeminen ja sen jälkeen testifunktioiden laatiminen testijärjestelmään standardin vaatimalla tavalla.

Funktioiden laatiminen ATS-järjestelmään kuuluvalla Test Editor -ohjelmalla oli ajoittain haastavaa, koska jokainen testi oli erilainen, ja parametrit sekä asetellut täytyi miettiä kummallekin lohkolle erikseen käänteisaikaishidasteisina ja vakio-aikahidasteisina.

Johtopäätökseksi muodostui, että uuden asian omaksuminen oli haastavaa yhden kevään aikana, koska koko standardin luku oli lähes oma maailmansa ja uuden testausjärjestelmän hallitsemisen opetteluun kului paljon aikaa. Testitulokset läpäisivät IEC-standardin määrittämällä tavalla, joten testien jälkeen ABB voi esittää testiraportit asiakkailleen suunnatun ylivirtalohkon osalta. Toisaalta näiden testien jälkeen on helpompi tehdä uusia testifunktioita muille suojauslohkoille, koska testipohjat voi kopioida uusien testien pohjiksi.

Avainsanat	IEC 60255-151, ATS, testaaminen, suunnattu ylivirtalohko, suojarele
------------	---

ABSTRACT

Author	Paavo Haverinen
Title	Directional Overcurrent Protection Block Testing According to IEC 60255-151 Standard
Year	2012
Language	Finnish
Pages	64 + 5 Appendices
Name of Supervisor	Timo Männistö

A subject of the Bachelor's thesis was how to apply the new IEC 60255-151 standard for directional overcurrent functional block testing of the REF615-line protection relay. The standard covers functional requirements for the over/under current protection of the measuring relays and protection equipment. The internal test environment (ATS) of ABB was chosen for the test system, because it was already a compiled structure and the test functionality was better than in the other existing test systems.

The theoretical background was collected from the above-mentioned standard, the manuals of the REF615, and the ABB internal data bases. The main tasks in the thesis were translating the contents of the standard from English to Finnish, then producing the test templates for the ATS and the last phase was testing the test functions. For the testing procedure the functionality of the protection relay and the structure of the ATS had to be known beforehand.

Essentially, the test functions had to be coded to the ATS according to the IEC standard. At the times the tasks were challenging because every single test case was different and the settings and parameters had to be done for both directional overcurrent functional blocks in dependent and inverse time delay modes.

The results of the tests complied with the IEC 60255-151 standard. Now the test reports can be shown for customers by ABB and in the future the copies of the test templates can be used for testing the other functional block. The conclusion of the thesis was that now the first functional block has been tested according to the above-mentioned standard and the company can strengthen their position in the market with regard to their rivals.

Keywords	IEC 60255-151, ATS, Testing, directional overcurrent functional block, protection relay
----------	---

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

A	virran yksikkö, ampeeri [A]
ABB	Asea Brown Boveri
AC	Alternative Current, vaihtovirta
Accuracy	ATS-järjestelmässä käytetty virta-askel
ANSI	American National Standards Institute, Amerikan kansallinen standartoimisinstituutti
ATS	Automatic Testing System, automaattinen testausjärjestelmä
Binary input/output	binäärinen sisääntulo/ulostulo
CT	Current Transformer, virtamuuntaja
DC	Direct Current, tasavirta
Define time relay	ABB Oy:n käyttämä nimitys vakioaikahidasteiselle releelle
Dependent time relay	IEC käyttämä nimitys käänteisaikahidasteiselle releelle
DNP3	Distributed Network Protocol, sähkönjakeluverkon kommunikaatioprotokolla
DPHxPDOC	suunnattu kolmivaiheinen ylivirtasuojaja, IEC 61850-koodi
DPHHPDOC	suunnattu kolmivaiheinen ylivirtasuojaja, ylempi porras, IEC 61850 -koodi
DPHLPDOC	suunnattu kolmivaiheinen ylivirtasuojaja, alempi porras, IEC 61850 -koodi

ENA_MULT	IED:n sisääntulo, joka aktivoituna Start value Mult -asettelu toimii kertoimena havahtumisarvoasetteluun
GOOSE	Generic Object Oriented System Event, IEC 61850 -standardin määrittelemä kommunikaatioprotokolla
G_s	IEC 60255-151, ominaissuureen aseteltu havahtumisarvo
G_T	IEC 60255-151, ominaissuureen kynnysarvo
Horizontal communication	horisontaalinen kommunikaatio
I_0	IED:n mittaama summavirta [A]
I_N	vaihevirran mittauksen nimellisvirta [A]
3I> ->	suunnattu kolmivaiheinen ylivirtasuojaja, alempi porras, IEC 60617-koodi
3I>> ->	suunnattu kolmivaiheinen ylivirtasuojaja, ylempi porras, IEC 60617-koodi
IEC	The International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähkötekniikka komissio
IEC 61850	sähköaseman automaation suunnittelustandardi
IEC 60870-5-103	sähkövoimajärjestelmän ohjaus ja siihen liittyvä kommunikaatiostandardi
IED	Intelligent Electronic Device, sähköverkon suojalaite
Independent time delay	IEC:n käyttämä nimitys vakioaikahidasteiselle releelle
Instantaneous relay	hidastamaton releen laukaisu

Inverse time delay	ABB Oy:n käyttämä nimitys käänteisaikahidasteiselle releelle
Measuring mode	IED:n ominaisuuteen mittaustapa
Modbus [®]	teollisuudessa käytetty sarjaliikenneprotokolla
NON_DIR-input	NON_DIR-sisääntulo, joka aktivoituna rele toimii ei-toimintavyöhykkeessä
Non-operation zone	ei-toimintavyöhyke
Num of start phases	havahtuneiden vaiheiden lukumäärä
Operate	IED:n lähtörele laukaisee virran ylitettyä raja-arvon
Operate time	toiminta-aika
Operate time characteristics	releen vetoaikaominaisuus
PSL	Phase Selection Logic, vaihevalintalogiikka
RCA	Relay Characteristic angle, releen ominaiskulma suuntauksen määrittämistä varten.
REF615	ABB Oy:n valmistama johdonsuojarele
Reset delay time	IED:n käyttämä palautumishidastusaika-asetus
Reset timer	IED:n palautumisajastin
RMS	Root Mean Square, tehollisarvo
Start	IED havahtuminen, kun mitattuvirta ylittää asetusarvon.
Start _{max}	DPHxPDO-lohkon havahtumisarvon maksimiasettelu-arvo
Start _{min}	DPHxPDO-lohkon havahtumisarvon minimiasettelu-arvo

Start value	IED:n havahtumisarvon kerroin.
Multiplier	
Timer	IED:n sisäinen ajastin, joka aktivoi start- tai operate- ulostulon
Test Executive	Visual Basic -ohjelmointikielellä koodattu ohjelmisto, osa ATS-järjestelmää
Test Engine	LabVIEW-ohjelmalla koodattu ohjelmisto, osa ATS- järjestelmää
Test Editor	Visual Basic -ohjelmalla koodattu ohjelmisto, osa ATS- järjestelmää
TMS	Time multiplier setting, aikakerroinasetus
U	jännitteen yksikkö, voltti [V]
U_0	IED:n mittaama nollajännite [V]
VT	Voltage Transformer, jännitemuuntaja

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	13
1.1	Suojareleet.....	14
1.2	Johdonsuojarele REF615	15
1.3	IEC-Organisaatio	16
2	SUUNNATTU YLIVIRTATOIMILOHKO	17
2.1	Suunnatut ylivirtatoimilohkot	17
2.2	Toimintaperiaate	18
2.2.1	Jännitemuisti	19
2.2.2	Tasovalitsin- ja vaihevalintalogiikka	21
2.2.3	Ajastin	22
2.2.4	Lukituslogiikka ja mittaustavat	22
2.2.5	Suunnattu ylivirtaominaisuus.....	23
2.2.6	Polarisointimenetelmät.....	24
2.3	Suojauslohkon käyttökohteet	25
3	IEC 60255-151 -STANDARDI.....	28
3.1	Funktion ominaisuudet.....	28
3.2	Sisääntulojen syöttösuureet.....	28
3.3	Binääristen sisääntulojen signaalit.....	29
3.4	Testitarkkuudet	29
3.5	Toimilohko.....	29
3.6	Vakioaikahidasteinen toimintakäyrä.....	30
3.7	Käänteisaikahidasteinen toimintakäyrä	31
3.8	Palautumisominaisuudet	32
3.8.1	Hidastamaton palautuminen.....	33
3.8.2	Vakioaikahidasteinen palautuminen	33
3.8.3	Käänteisaikahidasteinen palautuminen	34

4	TESTAUSLAITTEISTO JA TESTIT	35
4.1	Automaattinen testausjärjestelmä, ATS	35
4.1.1	Test Executive	36
4.1.2	Test Engine	36
4.1.3	Test Editor	36
4.1.4	Raportointityökalu	37
4.1.5	Laitteisto	37
4.2	Testit 1 ja 2: Toiminta-arvo ja palautumissuhde	38
4.2.1	Parametrit ja asettelut	41
4.2.2	Testin tulos	42
4.3	Testi 3: Toiminta- ja päästöaika	43
4.3.1	Parametrit ja asettelut	45
4.3.2	Testin tulos	46
4.4	Testi 4: Palautumisajan määrittäminen	47
4.4.1	Parametrit ja asettelut	48
4.4.2	Testin tulos	50
4.5	Testi 5: Hetkellinen yliulottuma	51
4.5.1	Parametrit ja asettelut	53
4.5.2	Testin tulos	54
4.6	Testi 6: Toimintavirran ylittämisaika	55
4.6.1	Parametrit ja asettelut	56
4.6.2	Testin tulos	57
4.7	Testi 7: Ajan suhteen muuttuvan virran vaikutus	58
4.7.1	Parametrit ja asettelut	60
4.7.2	Testin tulos	61
5	LOPPUPÄÄTELMÄT	62
	LÄHTEET	64
	LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Johdonsuojarele REF615. /4/	s.15
Kuvio 2. Liitinkaavion piirrosmerkkejä. /4//5/	s.16
Kuvio 3. Toiminnan moduulikaavio. /3/	s.17
Kuvio 4. Suojausportaiden DPHLPDOC ja DPHHPDOC toimilohkot. /3/	s.18
Kuvio 5. Toimintavyöhykkeet minimisuuressa. /3/	s.20
Kuvio 6. Havahtumisarvo ENA_MULT-sisääntulo aktivoituna. /3/	s.21
Kuvio 7. Toimintasektorit. /3/	s.23
Kuvio 8. Eri polarisaatiomenetelmillä määritetyt maasulut. /3/	s.24
Kuvio 9. Silmukkaverkon johtojen suojausesimerkki A. /3/	s.25
Kuvio 10. Rengasverkon rinnakkaislinjojen suojausesimerkki B. /5//10/	s.26
Kuvio 11. Rinnakkaisverkon muuntajien suojausesimerkki C. /3//5/	s.27
Kuvio 12. Vakioaikahidasteinen toimintakäyrä. /9/	s.30
Kuvio 13. Käänteisaikahidasteinen funktio. /10/	s.31
Kuvio 14. Käänteisaikakäyrät. /10/	s.32
Kuvio 15. Vakioaikahidasteisen toiminnan palautumisominaisuus. /6/	s.33
Kuvio 16. Käänteisaikahidasteiden toiminnan palautumisominaisuudet. /6/	s.34
Kuvio 17. ATS-komponentit. /2/	s.35
Kuvio 18. Test Editor -käyttöliittymä. /2//5/	s.36
Kuvio 19. DPHxPDOC testipisteet ja havahtumisarvot. /5//6/	s.40
Kuvio 20. Transient overreach -testin aaltomuoto. /5//6/	s.52
Kuvio 21. Toimintavirran ylittämisaika. /5/	s.55
Kuvio 22. Testin aaltomuoto. /6/	s.58

Taulukko 1. Suojauslohkojen tunnistus eri standardeissa. /3/	s.18
Taulukko 2. Suunnattujen ylivirtaortaiden testausasetteluväli. /5/	s.39
Taulukko 3. Operate and reset ratio -testin ATS-asettelut. /5//6/	s.41
Taulukko 4. Operate value and reset ratio testiraportti. /2/	s.42
Taulukko 5. Lohkojen testipisteet käänteis- ja vakioaikaisina. /5//6/	s.43
Taulukko 6. Operate and disengaging time -testin ATS-asettelut. /5//6/	s.45
Taulukko 7. Operate and disengaging time -testiraportti. /2/	s.46
Taulukko 8. Lohkojen testipisteet käänteis- ja vakioaikaisina. /5//6/	s.47
Taulukko 9. Reset time -testin ATS-asettelut. /5//6/	s.48
Taulukko 10. Reset time -testiraportti. /2/	s.50
Taulukko 11. Transient overreach -testin ATS-asettelut. /5//6/	s.53
Taulukko 12. Transient overreach -testiraportti. /2/	s.54
Taulukko 13. Overshoot time -testin ATS-asettelut. /5//6/	s.56
Taulukko 14. Overshoot time -testiraportti. /2/	s.57
Taulukko 15. Standardin määäämät testiarvot. /5//6/	s.59
Taulukko 16. G1 G2 test -testin ATS-asettelut. /5//6/	s.60
Taulukko 17. G1 G2 test -testiraportti. /2/	s.61

LIITELUETTELO

LIITE 1. IEC 60255-151, 29 ja 30 s.

LIITE 2. IEC 60255-1 -standardin määrittämät testitarkkuudet

LIITE 3. REF615-suunnattujen ylivirtalohkojen asettelut

LIITE 4. REF615-suunnattujen ylivirtalohkojen teknillinen tieto

LIITE 5. REF615 E ja F-konfiguraatioiden liitinkaavio

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö käsitteli ABB Oy Sähkönjakeluautomaatiolle uutta IEC 60255-151 -standardin mukaista suunnatun ylivirtalohkon testausta. Toimeksiantoon kuului tähän standardiin tutustuminen, testien määrittäminen ja suunnatun ylivirtalohkon testaaminen ATS-laitteistolla. Työ oli tärkeä, koska sen jälkeen oli mahdollista todistaa asiakkaille, että suojarleen suunnattu ylivirtalohko on testattu standardin mukaisesti. Toisaalta työn tärkeys korostui RSE-osastolla, koska työn jälkeen oli mahdollista käyttää suunnatun ylivirtalohkon testipohjia myös muiden suojauslohkosten testeihin. Yhteensä opinnäytetyön aikana testattiin 160 erilaista testikombinaatiota.

ABB Oy on maailman johtavin sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä. Suomen ABB:n juuret ovat Gottfrid Strömbergin perustamasta Strömberg Oy:stä, joka siirtyi useiden vaiheiden kautta Asea ja BBC:n fuusioituneeseen yhtiöön (Asea Brown Boveri).

ABB:n Sähkönjakeluautomaatio-yksikkö (Distribution Automation) on erikoistunut suojaukseen, asema-automaatioon ja käytönvalvontaan. Yksikkö vastaa maailmanlaajuisesti sähköjärjestelmien suojarleiden, hälytyslaitteiden, paikallisautomaation ja kaukokäyttöjärjestelmien kehittämisestä, valmistamisesta ja markkinoinnista. Yksikön palveluksessa oli vuonna 2010 noin 240 henkilöä ja liikevaihto vuonna 2011 oli 88 miljoonaa €. /1//2/

Opinnäytetyö tehtiin Sähkönjakeluautomaation RSE-osastolle, jonka vastuualueina on sovellusfunktioiden kehitys ja päivitys suojarleille. RSE-osasto sijaitsee Vaasassa ja Tampereella, ja sen palveluksessa olevilla henkilöillä on vahva ammattitaito sähkövoimatekniikasta, ohjelmoinnista, signaalin käsittelystä sekä testauksesta. Sovellusfunktioiden projektien testaus tehdään automaattisella testausjärjestelmällä (ATS). Osasto vastaa myös standardien mukaisesta konfiguraatiokehityksestä, testauksesta, kenttätestauksesta sekä osallistumisesta IEC-standardoimiseen. /2/

1.1 Suojareleet

Suojareleen (IED) toiminta perustuu tietyn ominaisuuden, esimerkiksi virran tai jännitteen mittaukseen. IED havahtuu, kun ominaisuus ylittää asetetun raja-arvon. Silloin rele antaa katkaisijalle laukaisukäskyn joko välittömästi tai hidastuen, käyttötavasta riippuen. Mittaustietojen käsittely ja toimintahidastusten muodostus tapahtuu elektroniikkapiirissä.

Staatinen eli elektroninen suojarele sisältää liikkuvia osia vain apureleissa. Staattiset suojareleet ovat nopeita ja tarkkoja, joten niitä käytetään mm. oikosulkusuojaukseen vahinkojen minimoimiseksi. Staattisia releitä syötetään erilliseltä apusähköliitännältä. Tämän ansiosta mittaussiirin kuormitus vähenee. Numeerisissa releissa analoginen mittaustieto muutetaan tiedon käsittelyä varten A/D-muuntimella digitaalseksi. Yksi numeerisen releen merkittävimmistä ominaisuuksista on itsevalvonta, jolla voidaan parantaa suojauksen luotettavuutta, aiheutumien toimintojen todennäköisyyden pienenemistä sekä releen saattamista toimintakuntoon nopeasti. /11/

Suojareleitä voidaan nimetä joko käyttötavan tai mitatun suureen perusteella. Esimerkiksi ylivirtarele (ylisuurerele) toimii mittaussuureen kasvaessa yli toiminta-arvon, jonka alempi asetteluporras merkitään $I>$ ja ylempi asetteluporras $I>>$. Alivirtarelettä merkitään pienempi kuin merkillä $I<$ ja $I<<$. /11/ Suunnattu ylivirtarele mittaa virran ja jännitteen vaihekulmaa, jonka perusteella mittauselin määrittää toiminnan vaihekulma-alueen mukaan. Suuntaustoiminto merkitään releen piirrosmerkkiin nuolella.

1.2 Johdonsuojarele REF615

ABB:n valmistama johdonsuojarele REF615 on kehitetty oikosulku-, ylivirta- ja termiseen ylikuormitusuojaukseen. Se sisältää myös suunnatun ja suuntaamattoman maasulkusuojan, herkän maasulkusuojan sekä kaapeliverkolle katkeilevan maasulkusuojan. Lisäksi rele sisältää avojohtoverkon suojausta varten jälleenkytkentäautomaatiikan. Kuvio 1 on opinnäytetyön kennoterminaalista REF615. /9/

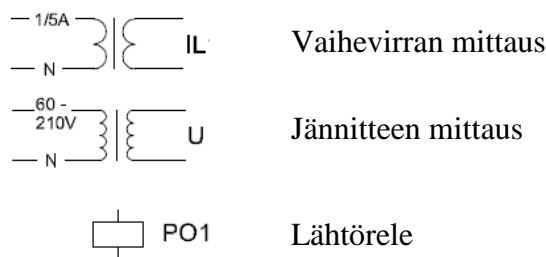


Kuvio 1. Johdonsuojarele REF615. /4/

Johdonsuojarele tukee IEC 61850- ja IEC 60870-5-103 -standardeja sekä modbus[®]- ja DNP3-kommunikaatioprotokollaa, sekä vertikaalista ja horisontaalista kommunikaatiota mukaan lukien GOOSE-palvelut. /9/

Johdonsuojareleen toteutuskohteita ovat esimerkiksi katkaisijan, paikallinen tai kommunikaatioväylän kautta toteutettu ohjaus. Releen tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu suojauksen jatkuvan valmiuden varmistus itsevalvontatoiminnolla. Itsevalvonnalla tarkkaillaan releen tilaa ja sen ohjelmiston toimintaa, releiden keskinäistä kommunikaatiota sekä katkaisijan laukaisupiirin valmiutta ja katkaisijan asentoa. Releen konfiguraatiosta riippuen voidaan valvoa myös katkaisijan mekaanista kulumista, katkaisijan ohjaimen viritysnopeutta ja katkaisukammion painetta. /9/

Liitteenä 5 on opinnäytetyön teon kannalta tärkeänä osana olleen johdonsuojareleen liitinkaavion (terminal diagram) binääriset sekä analogiset sisään- ja ulostuloliittimet. Suunnatun ylivirtalohkon testausta varten virran ja jännitteen mittaukseen käytettiin kaikkia virta- ja jännitemuuntajia (CT ja VT), paitsi maasulun (I_0 ja U_0) mittausta varten olevia muuntajia, koska suunnatut ylivirtaportaat eivät käytä maasulkutietoja suojauksen kriteerinä. Kuviossa 2 on esitettynä opinnäytetyössä käytettyjen virta-, jännitemuuntajan ja lähtöreleen piirrosmerkit releen liitinkaavioesityksessä.



Kuvio 2. Liitinkaavion piirrosmerkkejä. /4//5/

1.3 IEC-Organisaatio

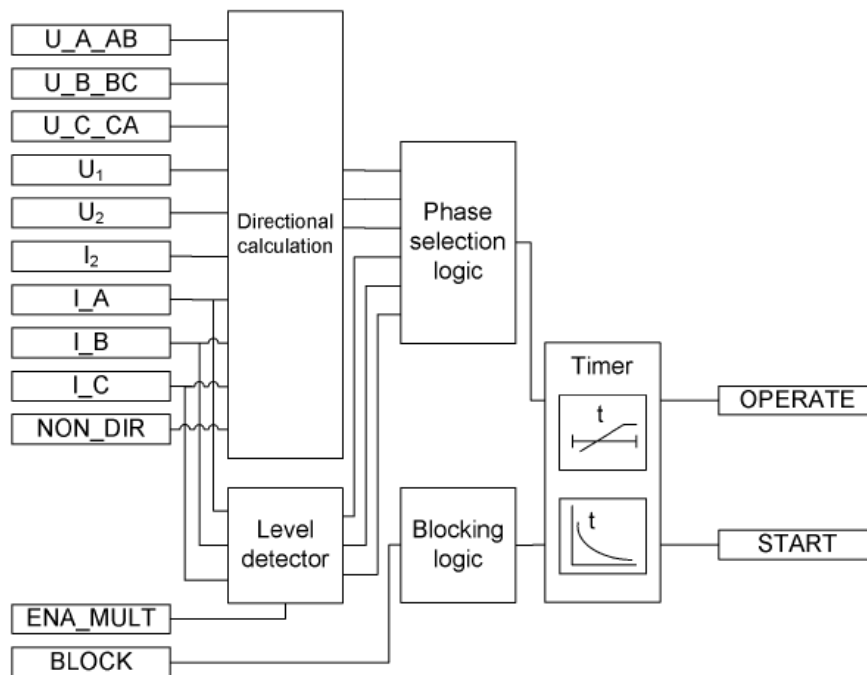
Opinnäytetyössä käsitellyn standardin IEC 60255-151 on kehittänyt voittoa tavoittelematon, sitoutumaton ja kansainvälinen IEC-standardoimisorganisaatio. Organisaatio valmistelee ja julkaisee kansainvälisiä standardeja sähkö- ja elektroniikkateollisuudelle, jotta uudessa teknologiassa käytetyt ratkaisut olisivat samantyyppisiä ja samassa järjestelmässä eri valmistajien tuotteet olisivat yhteensopivia. IEC-organisaatio hoitaa myös vaatimusten arviointijärjestelmiä sähkötekniikan tuotteille. /8/

2 SUUNNATTU YLIVIRTATOIMILOHKO

Suunnattu ylivirtasuojalohko DPHxPDOC toimii suojana johtolähdölle REF615-suojareleessä 1-, 2- tai 3-vaiheisessa suunnatussa ylivirrassa ja oikosulussa.

2.1 Suunnatut ylivirtatoimilohkot

Toimilohko DPHxPDOC havahtuu (start), kun virta-arvo ylittää asetteluarvon ja suuntakriteeri täyttyy. Vetoaikaominaisuus (operate time characteristics) alemmalle tasolle DPHLPDOC ja ylemmälle tasolle DPHHPDOC voidaan valita, joko vakioaikaisena tai käänteisaikaisena. Vakioaikaisena toimilohko toimii etukäteen asetellun ajan jälkeen ja palautuu vian hävitessä. Toimilohkon sisällä on mahdollista lukita toimilohkon ulostulot (output), ajastimet (timer) ja itse funktio /8/. Kuvio 3 nähdään toimilohkon moduulikaavio, jossa on esitettyä mittaussuureet, suuntauksen laskenta, lukitukset, vaihevalintalogiikka-, ajastin- ja laukaisu- sekä havahtumistoiminnot. /3/



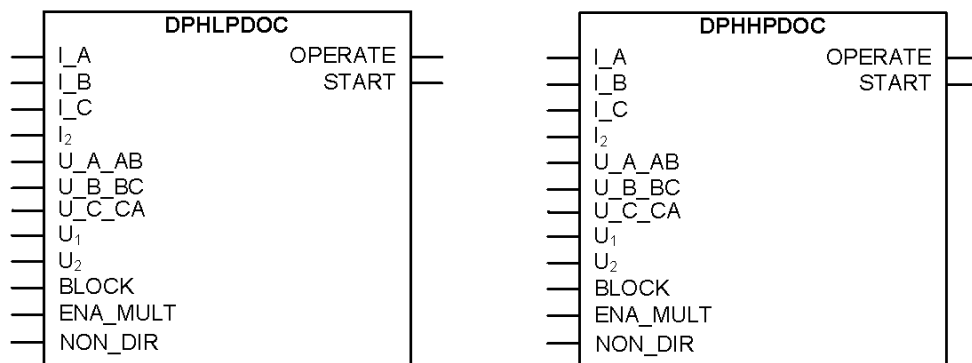
Kuvio 3. Toiminnan moduulikaavio. /3/

Suojaustoimilohkojen tunnistamiseen käytetään taulukon 1 mukaisia IEC- ja ANSI/IEEE-standardien tunnistuskoodeja, sekä kuvion 4 mukaista toimilohkoesitystä.

Taulukko 1. Suojauslohkosten tunnistus eri standardeissa. /3/

Toiminnon kuvaus	IEC 61850-koodi	IEC 60617-koodi	ANSI/IEEE C37.2 laite nro.
Suunnattu kolmivaiheinen ylivirtasuojauus, alempi porras	DPHLPDOC	3I> ->	67-1
Suunnattu kolmivaiheinen ylivirtasuojauus, ylempi porras	DPHHPDOC	3I>> ->	67-2

Kuviossa 4 on esitettyä lopputyössä käsiteltyjen suunnattujen ylivirtaportaiden molemmat suojaustoimilohkot DPHLPDOC ja DPHHPDOC.



Kuvio 4. Suojasportaiden DPHLPDOC ja DPHHPDOC toimilohkot. /3/

2.2 Toimintaperiaate

IED:n vikasuunnan määrittäminen perustuu vaihevirtojen ja niitä polarisoivan jännitteen välisen vaihekulman ϕ vertailuun. Sopiva vaiheosoitin voidaan valita eri vaihtoehdoista, kuten jännitteen myötä- tai vastakomponentista, itse- tai ristipolaarisuudesta. Suuntaustoiminta voidaan valita eteen- tai taaksepäin suunnatuksi ja suuntaamattomaksi (non dir). Kulman ϕ asetteluarvo riippuu sähkönjakelujärjestelmä-

tä. Kulman ϕ valinta perustuu siihen, että toimintasuunnalla olevat viat näkyvät toiminta-alueella, ja vastakkaisessa suunnassa olevat viat näkyvät ei-toiminta-alueella.

Johdonsuojareleen luotettava toiminta vaatii toiminta- ja polarisaatiosuureiden minimiamplitudien ylittämistä, jotka voidaan määritellä IED:n asetteluista. Polarisaatiojännite pystyy olemaan voimassa, vaikka sen amplitudi laskisi alle asetteluarvon (min operate voltage setting), jolloin suuntaustieto luetaan jännitemuistiajastimesta (voltage memory time). /3/

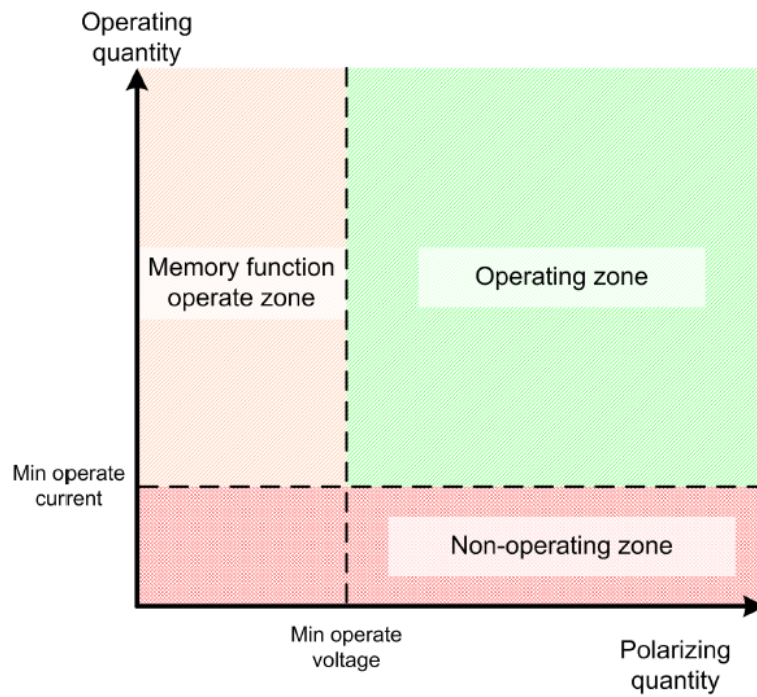
2.2.1 Jännitemuisti

Molemmissa suojauslohkoissa on jännitemuistitoiminto (voltage memory time), jolla voidaan määrittää oikea suuntaustieto lähellä tapahtuvassa oikosulussa tai maasulussa jännitteen laskiessa alhaiseksi. Äkillisessä polarisaatiojännitteen laskussa IED laskee vaihekulman ϕ fiktiivisen jännitteen perusteella. Fiktiivinen jännite lasketaan vikaa edeltävästä positiivisesta vaihejännitteestä, ja muistitoiminto pystyy toimimaan asetellun ajan rajoissa jännitteen laskun jälkeen. Toisaalta jännitemuistia ei voida käyttää ristipolarisaatioissa, koska jännitteen myötäkomponenttia ei voida korvata vastakomponentilla tietämättä verkon epäsymmetrisyyttä. Tämän takia fiktiivisen jännitteen kulma ja vastaava suuntaustieto jäädytetään heti polarisaatiomuotoon, kun jännitemuistia tarvitaan. /3/

Kun jännite laskee viassa alle minimitoimintajännitteen, vaihekulma määritetään fiktiivisestä vaihekulmasta. Mitattua jännitettä sovelletaan heti, kun mitattu jännite nousee yli minimitoimintajännite-asettelun ja hystereesin. Fiktiivinen jännite hylätään, kun mitattu jännite ja hystereesi ovat alle minimitoimintajännitteen jännitemuistin ajan, tai kun vikavirta häviää fiktiivisen jännitteen aikana.

Kuviosta 5 nähdään toimintavyöhykkeet minimisuuruustasoilla. Toimilohko voidaan pakottaa toimimaan myös ei-toimintavyöhykkeessä (non-operation zone) aktivoimalla NON_DIR-sisääntulo.

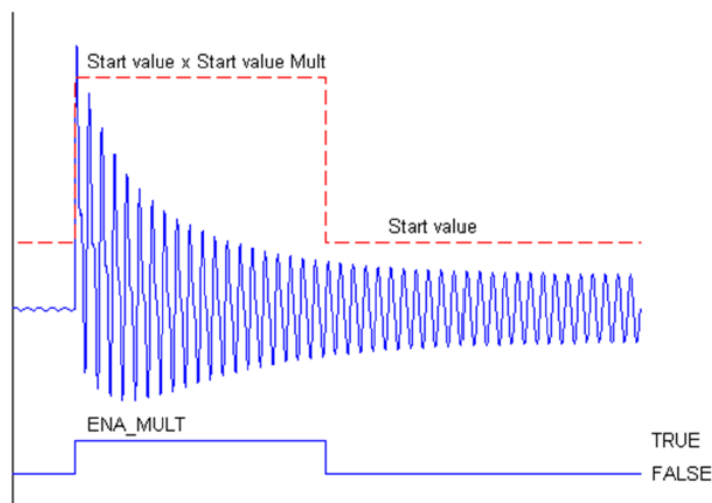
Kuviosta 5 voidaan myös huomata eri vyöhykkeiden toiminnat ominaisuuksien perusteella. Esimerkiksi toimilohko laskee virran ja jännitteen vaiheosoittimien suuruksia ja siten määrittää oikean vyöhykkeen. /3/



Kuvio 5. Toimintavyöhykkeet minimisuuressa. /3/

2.2.2 Tasovalitsin- ja vaihevalintalogiikka

Mitattuja vaihevirtoja verrataan vaihekohtaisesti aseteltuun havahtumisarvoon. Mitatun arvon ylittäessä havahtumisarvon tasovalitsin raportoi ylityksen vaihevalintalogiikalle (PSL). Kun ENA_MULT-sisääntulo on aktivoitu, havahtumisarvo kerrotaan Start value Mult -arvolla (**Kuvio 6.**).



Kuvio 6. Havahtumisarvo ENA_MULT-sisääntulo aktivoituna. /3/

Kun vikakriteeri täyttyy tasovalitsimella ja suuntauslaskennassa, vaihevalinta logiikka (PSL) havaitsee asetteluiden ylityksen vaihevirrassa tai vaiheiden virroissa. Jos vaihetieto sopii yhteen Num of start phases -asetteluun, silloin vaihevalintalogiikka aktivoi ajastimen (Timer). Esimerkiksi 3-vaiheisessa oikosulussa PLS aktivoi ajastimen siitä vaihevirran mittauksesta, missä vika havaitaan ensimmäisenä. /3/

2.2.3 Ajastin

Ajastin aktivoi start-ulostulon, ja toiminta-aikakäyrästä (operation curve type) riippuen se aktivoi operate-ulostulon. Käänteisaikahidasteisena (IDMT) toiminta-aikaominaisuuskäyrä voidaan valita käyttämällä operating curve type -parametria. Vakioaikahidasteisena (DT) toiminta-aika määritellään Operate delay time -parametrilla. Vian hävitessä toimintahidastuksen aikana käynnistyy palautumisajastin (reset timer), joka laskee aikaa kunnes palautumishidastuksen hidastusarvo saavutetaan (reset delay time). Käänteisaikahidasteisessa ominaisuudessa palautuminen voidaan tehdä joko heti vian häviämisen jälkeen, tai palautumisaikaan verrannollisesta virrasta riippuen. Toiminnan ja palautumisen skaalaamiseksi käytetään Time multiplier -parametria. /3/

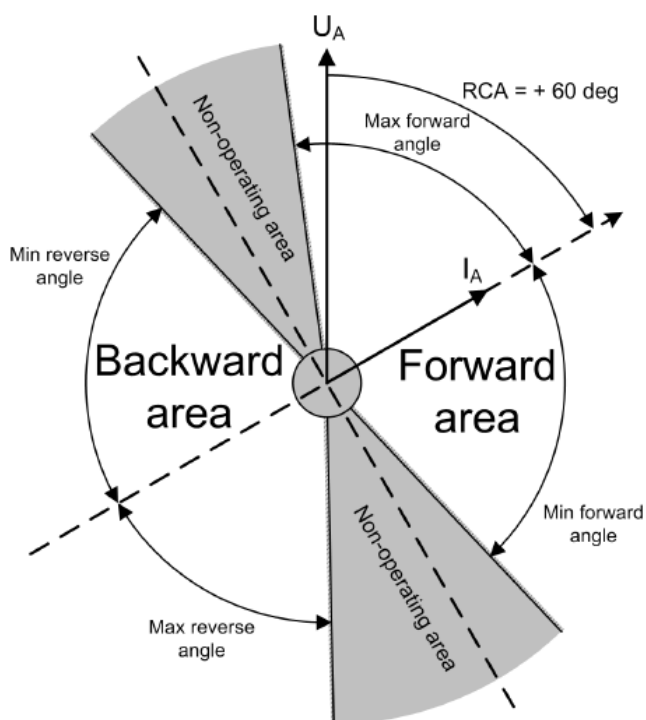
2.2.4 Lukituslogiikka ja mittaustavat

IED:ssä on mahdollista käyttää 3:a eri lukitustoimintoa. Lukitussisääntuloja voidaan kontrolloida binäärisillä sisääntuloilla (binary input), horisontaalisella kommunikaatiolla (horizontal communication) tai sisäisillä IED:n signaaleilla. Sähkösuureiden mittaustapa (measuring mode) voidaan perustaa ominaisuuteen

- tehollisarvoon (RMS)
- Diskreetti Fourier'n muunnokseen (DFT)
- mitatun aallon huipusta huippuun. (peak-to-peak). /3/

2.2.5 Suunnattu ylivirtaominaisuus

Suunnatussa ylivirtasuojalohkossa parametroidaan suunnat eteen- tai taaksepäin käyttämällä kulmatietoa, joka saadaan maksimi- ja minimikulmasta mitattuun vaihevirtaan vertaamalla. Eteenpäin suojaussektori valitaan vaihevirran suuntaan, ja taaksepäin vaihevirran vastakkaissuuntaan. Kuviossa 7 esitetyllä releen ominaiskulmalla (RCA) voidaan asettaa suuntauksen leveys ja suunta. RCA on positiivinen, kun toimintavirta I_A jätättää polarisaatiojännitteeseen U_A :han verrattuna. /3/



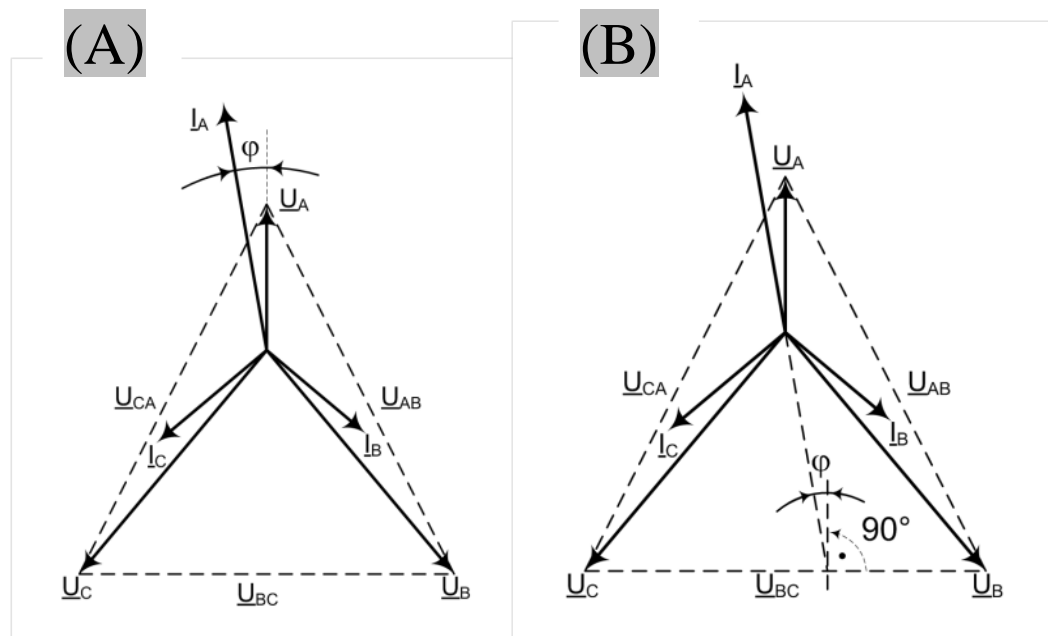
Kuvio 7. Toimintasektorit. /3/

2.2.6 Polarisointimenetelmät

Releessä on mahdollista käyttää kahta polarisaatiomenetelmää. Tämä tarkoittaa sitä, että vika voidaan määrittää joko itsepolarisaatiomenetelmällä tai ristipolarisaatiomenetelmällä, negatiivisilla tai positiivisilla polarisaatiojännitteillä. /3/

Itsepolarisaatiomenetelmällä määritetyssä viassa esiintyvä yksivaiheinen maasulku A-vaiheessa on esitettyä kuviossa 8 (A). Tällöin kulmaero ϕ lasketaan polarisoivan vaihejänniteosoittimen U_A ja virtaosoittimen I_A väliin muodostuvasta vaihekulmasta. Itsepolarisointimenetelmällä maasulkutilanteessa ei ole tarvetta kääntää polarisointisuuretta.

Nykyään käytetään lähes yksinomaan ristipolarisaatiomenetelmää (B, **Kuvio 8.**), koska vaihekulman ϕ laskentaan käytetään vaihevirran osoitinta I_A sekä terveiden vaiheiden B ja C pääjänniteosoitinta U_{BC} . Yksivaiheisen maasulun syntyessä vaiheessa A joudutaan kääntämään polarisaatiosuuretta 90 astetta, koska polarisaatiojännitteenä ei käytetä viallisen vaiheen jänniteosoitinta. Oletuksena pidetään, että maasulussa kulmaeron ϕ suuruus on likimain 0 astetta. /3/

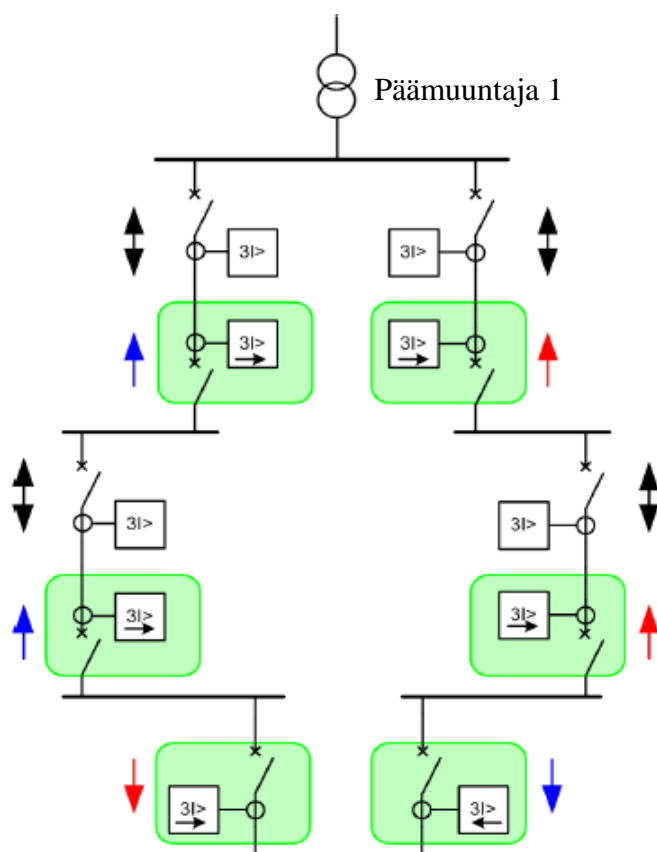


Kuvio 8. Eri polarisaatiomenetelmillä määritetyt maasulut. /3/

2.3 Suojauslohkon käyttökohteet

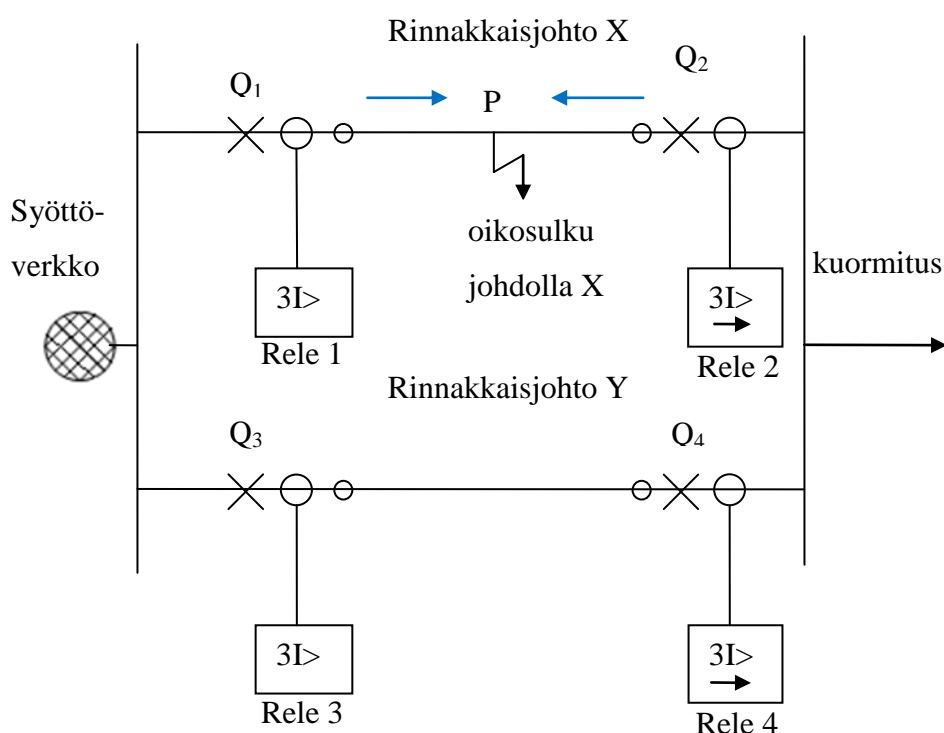
DPHxPDOC-suojauslohkoja käytetään 50 Hz:n ja 60 Hz:n taajuuksilla siirto- tai jakeluverkon 3-vaiheiseen oikosulkusuojaukseen. IED:tä voidaan myös käyttää säteis-, rengas- tai silmukkaverkkojen linjojen, muuntajien ja muiden verkon komponenttien suojaukseen. /3/

Esimerkiksi kuviossa 9 silmukkaverkon johtolähtöjä suojataan suunnatuilla ylivirtalohkoilla, siinä esiintyvät nuolet kertovat suuntauksen suunnan ja kaksipäiset nuolet tarkoittavat suuntaamatonta suojausta. Suojausesimerkissä A jokainen johto on, yhdysjohtoa lukuun ottamatta, varustettu suunnatulla ja suuntaamattomalla ylivirtareleellä, jotta vian syntyessä vikajohdon molemmissa päissä olevat releet voivat katkaista viallisen johdon pois verkosta. Tällä tavoin varasyöttö voidaan järjestää renkaan kautta.



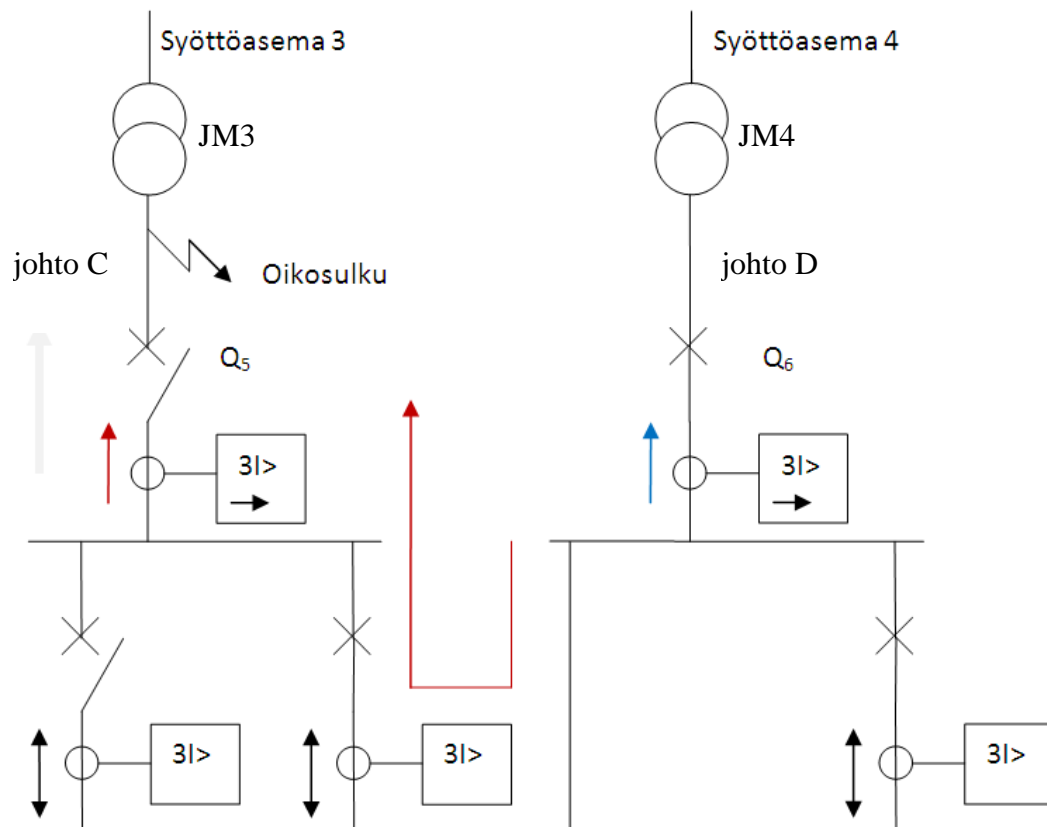
Kuvio 9. Silmukkaverkon johtojen suojausesimerkki A. /3/

Rengasverkon ylivirtasuojausesimerkissä B (**Kuvio 10.**) oikosulku syntyy rinnakkaisjohdon X kohdassa P. Tällöin rele 2 suojaa johtoa, kun oikosulkuvirta ylittää releen asetteluarvon ja vikavirran suunta on johdolle X päin. Rengasverkon johto X laukaistaan molemmista päistä, koska oikosulkuvirtaa syötetään vikapaikkaan P johdon X molemmista syöttösuunnista. Katkaisijat Q1 ja Q2 laukaistaan selektiivisesti releillä 1 ja 2. Rinnakkaisjohto Y jatkaa kuormitukseen tehon syöttöä, kun vikajohto X on erotettuna verkosta vian poistamisen ajaksi. /10/



Kuvio 10. Rengasverkon rinnakkaislinjojen suojausesimerkki B. /5//10/

Kolmantena esimerkkinä on esitetty rinnakkaisverkon muuntajien ylivirtasuojauseimerkki C (**Kuvio 11.**), jossa oikosulku tapahtuu syöttöaseman 3 muuntajan JM3 läheisyydessä. Tällöin muuntajat on suojattava suunnatulla ylivirtareleellä, koska vikavirtaa voidaan syöttää pienjänniteverkosta keskijänniteverkkoon päin.



Kuvio 11. Rinnakkaisverkon muuntajien suojausesimerkki C. /3//5/

3 IEC 60255-151 -STANDARDI

Standardi IEC 60255-151 määrittelee minimitestausvaatimukset yli- ja alivirtareille. Standardi sisältää suojauslohkojen vaatimukset, mittausominaisuudet sekä toiminta-aikahidastusominaisuudet. Opinnäytteessä perehdyttiin vain ylivirtareleitä koskeviin osiin. /6/

3.1 Funktion ominaisuudet

Valmistajan täytyy tarjota toimilohkon kaavio testatusta toteutuksesta. Kaaviosta on nähtävä suojauslohkon sisääntulot, ulostulot, mittauselementit, aikahidastusominaisuudet ja funktion logiikka. /6/

3.2 Sisääntulojen syöttösuureet

Sisääntulojen syöttösuureita ovat mittaussignaalit, kuten virrat ja jännitteet. Niiden arvot ja asiaan kuuluvat standardit on määriteltynä standardissa IEC 60255-1 (LIITE 2). Sisääntulojen syöttösuureet voidaan johtaa joko virta- tai jännitemuuntajilta tai tietopaketteina kommunikaatioportin kautta käyttäen asiaan kuuluvaa kommunikaatioprotokollaa (esim. IEC 61850-9-2). Suojauslohkojen virrat täytyy syöttää suoraan virtamuuntajan toisiosista. Tämän takia mittausreleen dokumentoinnin täytyy noudattaa suojauslohkon syöttösuureiden tyyppiä, joita ovat

- vaihevirran mittaus
- kolmivaihevirran mittaus
- nollavirran mittaus
- virran myötä- ja vastakomponentin mittaus.

Syöttösuureen mittaustyyppin täytyy noudattaa seuraavia mittaustapoja

- signaalin tehollisarvon mittaus
- signaalin perusaallon tehollisarvon mittaus
- signaalin tietyn harmonisen komponentin tehollisarvon mittaus
- signaalin huippuarvon mittaus
- signaalin hetkellisarvon mittaus. /6/

3.3 Binääristen sisääntulojen signaalit

Kun käytetään ulkoisia tai sisäisiä binäärisiä sisääntuloja, niiden vaikutus suojauslohkoon täytyy määritellä lohkokaaviossa. Selkeyden vuoksi on mahdollista käyttää sanallista määrittelyä./6/

3.4 Testitarkkuudet

IEC 60255-151 -standardin kohdassa 5 vaaditaan määrittämään testeissä käytettyjen suunnattujen ylivirtalohkojen toimintatarkkuudet ja ajat. Kaikki standardin vaatimat testeissä käytetyt tarkkuudet on määriteltyinä liitteissä 2 ja 4. /6/ /7/

3.5 Toimilohko

Toimilohkon toiminta-ajan ja ominaissuureiden yhteys voidaan esittää käyttämällä ominaiskäyrää, jonka muoto täytyy olla selkeästi määriteltynä joko kaavana tai käyränä. Standardi suosittelee kaavan käyttöä. /6/

Standardi määrittää 2 aikahidasteista tyyppiä:

- Vakioaikahidasteinen:
Independent time delay (IEC) ↔ Define time delay (ABB)
- Käänteisaikahidasteinen:
Dependent time delay (IEC) ↔ Inverse time delay (ABB)

IEC 60255-151 -standardissa hidastusajat on nimetty eri tavoin kuin ABB:n käyttämät nimitykset hidastusajoille. ABB:n käyttämät termit ovat IEC 61850 -standardista, mikä johtaa ristiriitatilanteeseen kahden IEC-organisaation käyttämien nimityksien välille. Johdonmukaisuuden takia testeissä ja dokumentoinnissa päädyttiin käyttämään IEC 60255-151:n mukaisia termejä. Aikaominaisuus määrittelee toiminta-ajan, kun sisääntulo saavuttaa asetusarvon (G_s) operate-releen vetäneenä.

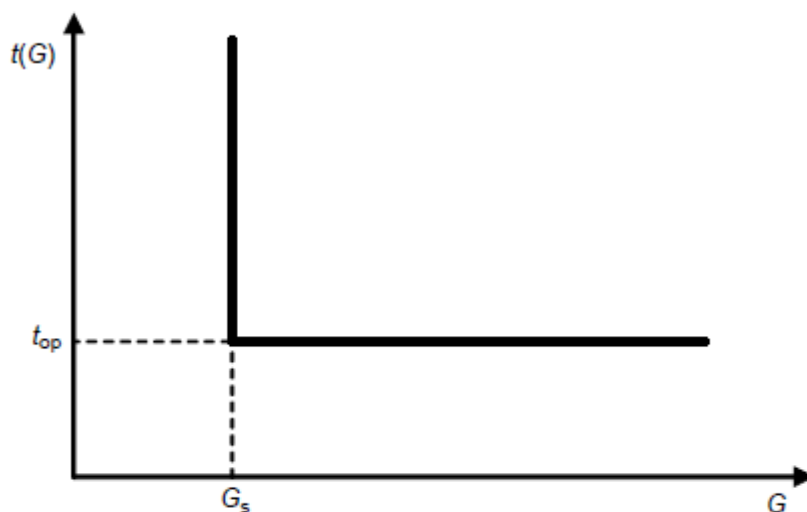
3.6 Vakioaikahidasteinen toimintakäyrä

Vakioaikahidasteinen toimintakäyrä on määritelty asetusarvojen ominaisuutena G_s ja toiminta-aikana t_{op} . Rele toimii molempien ehtojen täyttyessä, kun hidastusaika $t(G) \geq t_{op}$ ja mitattu virta $G > G_s$.

Standardissa määritetty kaava vakioaikahidasteisille releille:

$$t(G) = t_{op}, \text{ kun } G > G_s \quad (1)$$

Kuvion 12 ja kaavan 1 perusteella voidaan tarkasti määrittää vakioaikahidasteisen releen toimintatapa. Toimintatapa ei ole riippuvainen virran ja ajan suhteesta, vaan toimintaedellytykset ovat vakiot riippumatta virran suuruudesta.



Kuvio 12. Vakioaikahidasteinen toimintakäyrä. /9/

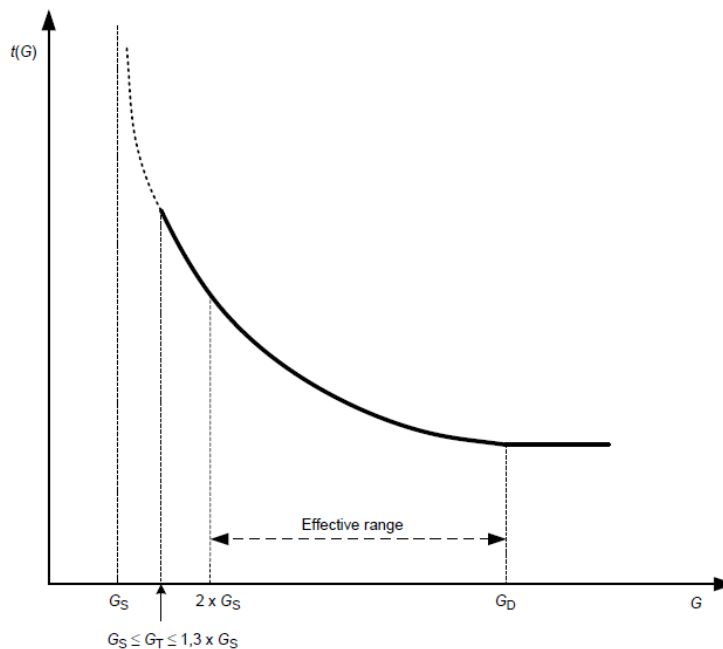
Kun aikahidasteisuutta ei käytetä, puhutaan hidastamattomasta tai hetkellisestä releestä (instantaneous relay). Standardin mukaisissa testeissä ei käytetty hidastamatonta relettä.

3.7 Käänteisaikahidasteinen toimintakäyrä

Standardissa määritellään käänteisaikahidasteisen käyrän $t(G)$ muoto kaavan 2 ja kuvion 13 avulla. Kaavassa 2 esitetyt parametrit: TMS (time multiplier setting), G_s tarkoittavat releeseen aseteltuja arvoja, G on mitattu arvo ja muut esiintyvät termit (k , c , α) ovat vakiosuureita (LIITE 1).

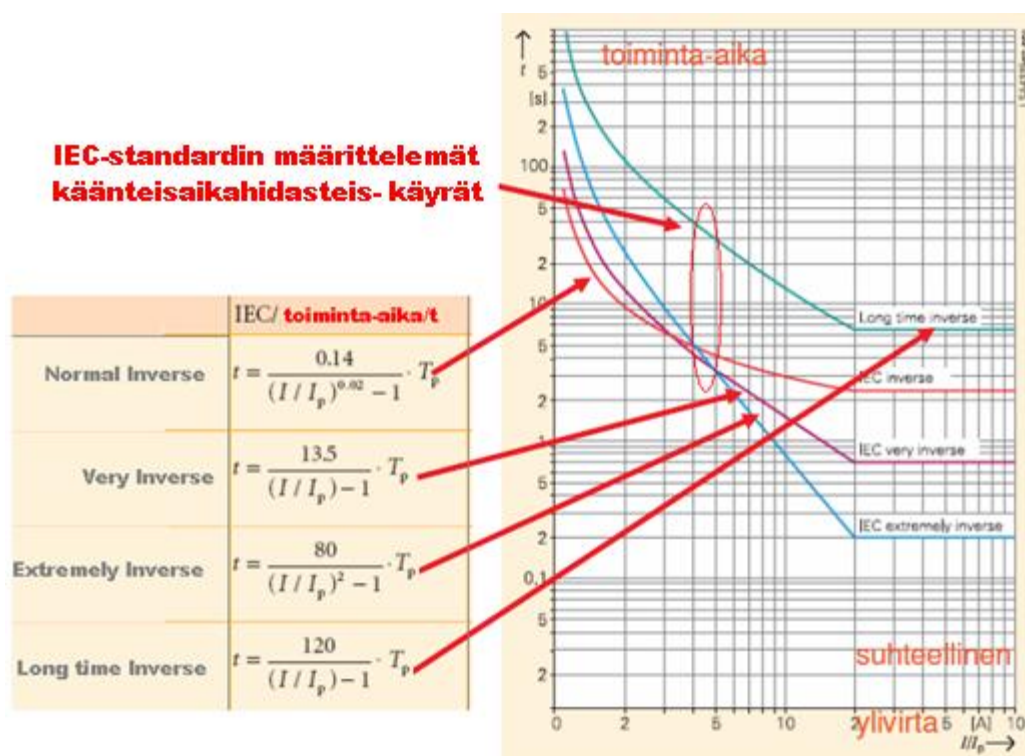
$$t(G) = TMS \left[\frac{k}{\left(\frac{G}{G_s}\right)^{\alpha-1}} + c \right] \quad (2)$$

Kuviossa 13 olevasta käänteisaikafunktion käyrästä näkee selvästi mm. tehollisen toiminta-alueen, mitatun arvon G_s asettelun ja kynnyksarvon G_T . G_T tarkoittaa pienintä arvo jolla releen täytyy toimia (operate) ja sen arvon on oltava vähintään $1,3 \times G_s$. Teholliseksi toiminta-alueeksi (effective range) standardissa määritellään $2 \times G_s - G_D$, jossa G_D on noin $20 \times G_s$. Käänteisaikahidastuksen releen toimintatapa poikkeaa vakioaikahidasteisesta siten, että laukaisuajan hidastus on kääntäen verrannollinen vikavirran suuruuteen, eli suurella vikavirralla hidastus on lyhyempi kuin pienellä.



Kuvio 13. Käänteisaikahidasteinen funktio. /10/

Kaikki standardin vaatimat käänteisaikahidasteiset testifunktiot suoritettiin IEC Normal Inverse-, Very Inverse- ja Extremely Inverse -käyriä käyttäen ja osa testeistä IEEE-käyriä käyttäen. Nämä käyrätyypit tarkoittavat toiminta-ajan lyhenemistä vikavirran kasvaessa. Käytettäessä käänteisaikahidasteisuutta releen täytyi laukaista viimeistään, kun aseteltu virtaraja ylitettiin 1,3-kertaisesti. Kuvioista 14 nähdään selkeästi IEC-standardin käänteisaikakäyrien määrittämät virta-aika-suhteet kaavoina ja käyriä.



Kuvio 14. Käänteisaikakäyrät. /10/

3.8 Palautumisominaisuudet

Standardi vaatii releen palautumisominaisuuksien määrittämisen molemmille hidastustyypeille sekä hidastamattomalle palautumiselle. Hidastustyyppit on määritettyinä luvuissa 3.8.1–3.8.3.

3.8.1 Hidastamaton palautuminen

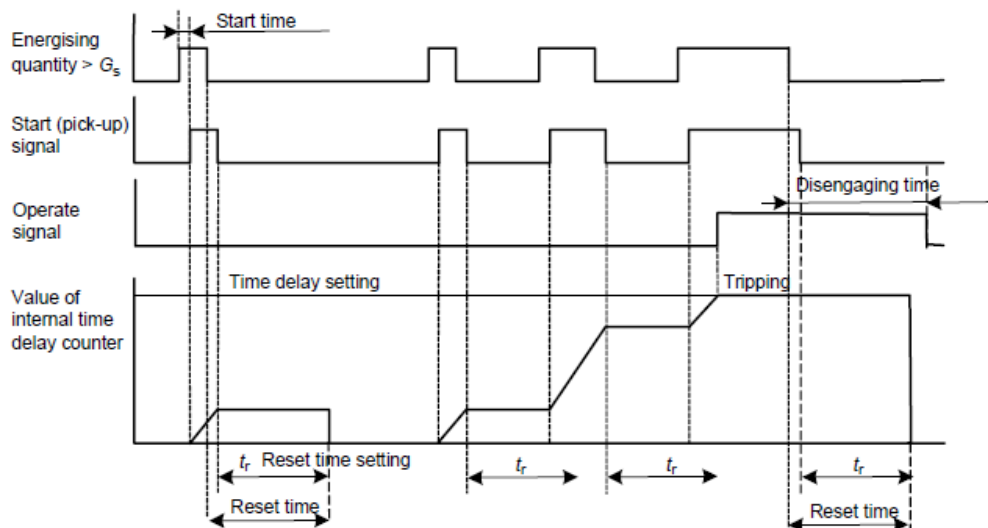
Releen täytyy palautua ilman tarkoituksellista hidastusta. Täysin hidastamatonta palautumistapaa voidaan soveltaa sekä käänteisaika- että vakioaikahidasteiselle releelle.

3.8.2 Vakioaikahidasteinen palautuminen

Kun virta $G < (\text{reset ratio}) \times G_s$, releen täytyy palautua sen palautumistilaan asetellun aikahidastuksen t_r jälkeen. Palautumisaikana releen täytyy säilyttää tila-arvo, joka on määriteltynä integraalikaavana 3, jossa t_p on transientin jakso.

$$\int_0^{t_p} \frac{1}{t(G)} dt \quad (3)$$

Jos testivirta ylittää ja sen jälkeen alittaa G_s :n asettelun palautumisjakson aikana, silloin palautumisajastin t_r (reset timer) palautuu. Toimilohko jatkaa toimintaansa normaalisti, ellei testivirta kasva yli asettelun. REF615-johdonsuojareleet käyttävät toimintaan kumulatiivista mallia, joka on esitettyä kuviossa 15. Kumulatiivisessa mallissa testivirran laskiessa alle havahtumisvirran G_s , rele säilyttää toimintatilansa palautumisajan loppuun asti.



Kuvio 15. Vakioaikahidasteisen toiminnan palautumisominaisuus. /6/

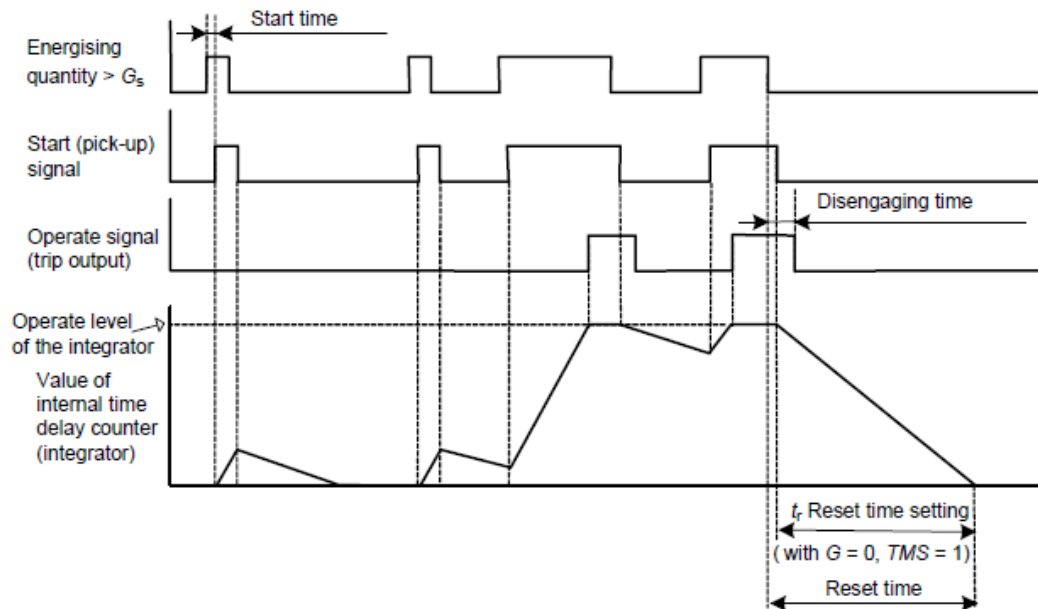
3.8.3 Käänteisaikahidasteinen palautuminen

Käänteisaikahidasteisen toiminnan palautuminen on määritelty standardissa kuvion 16 mukaan. Siinä esitetään, kuinka käänteisaikahidasteisen releen täytyy palautua (reset) sisäisen kellon ajan kuluessa. Kun testivirta $G > G_S$, niin ajan laskettu kumulatiivinen aika-arvo saa releen toimimaan. Testivirran G laskiessa alle G_S :n, rele palautuu aikafunktion $t_R(G)$ jälkeen.

Releen sisäinen kello aloittaa palautumisen jakson laskemisen, kun testivirta $G < (reset\ ratio) \times G_S$. Palautuminen on määritelty kaavan 4 avulla IEC 60255-151 -standardin kohdassa 4.4.2.4:

$$t_R(G) = TMS \left(\frac{t_r}{1 - \left(\frac{G}{G_S} \right)^\alpha} \right) \quad (4)$$

Kaavassa 4 t_r on käänteisaikahidasteinen palautumisaika, α on valitun toimintakäyrän tyyppi, G on testivirta, G_S on asetteluarvo ja TMS on aikakerroinasetus. Toimintakäyriä testeissä käytettiin Inverse-, Very Inverse- ja Extremely Inverse -käyriä.



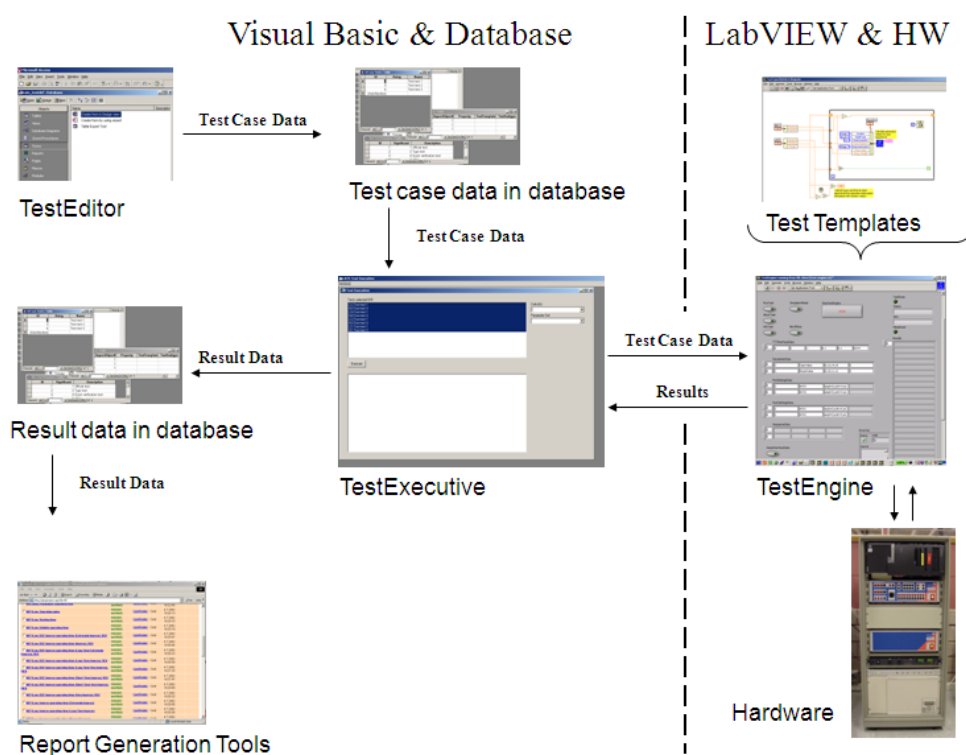
Kuvio 16. Käänteisaikahidasteiden toiminnan palautumisominaisuudet. /6/

4 TESTAUSLAITTEISTO JA TESTIT

IEC 60255-151 -standardin vaatimat testit sekä niihin vaaditut asettelut suoritettiin automaattisella testausjärjestelmällä (ATS). Sillä voitiin testata suojareleen toimilohkojen käyttäytymistä simuloimalla sähköverkon vikatilanteita, häiriöitä ja komponentteja.

4.1 Automaattinen testausjärjestelmä, ATS

ATS-järjestelmällä releille tyypillisesti tehdään prototyyppitestausta ja toimilohkojen tyyppitestausta siinä vaiheessa, kun suojareleen eri komponentit on integroitu. Testien jälkeen on mahdollista tarkastella toiminta-aikoja, tarkkuuksia ja toimilohkojen yhteistyötä. Testien tarkoituksena on tuotteen toiminnan todentaminen vaatimusten mukaisesti ennen tyyppitestausta. Automaattinen testausjärjestelmä (**Kuvio 17.**) muodostuu 6 komponentista, joista työn kannalta tärkeimmät on esitettyinä luvuissa 4.1.1–4.1.5.



Kuvio 17. ATS-komponentit. /2/

Laitteiston hallitsevat komponentit ovat Test Executive ja Test Engine. Test Executive on hierarkiassa ylin, ja se sisältää käyttöliittymän, tietokannan hallinnan, testiprojektihallinnan ja tulosten käsittelyn. Se myös ohjaa Test Engineä suorittamaan testejä. /2/

4.1.1 Test Executive

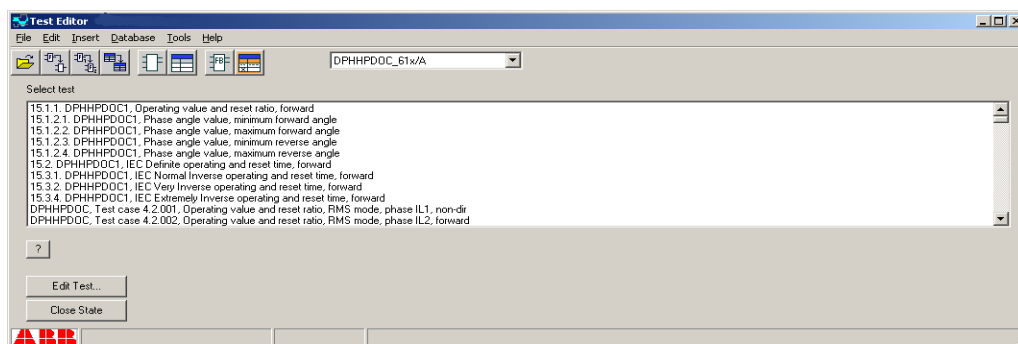
Test Executive -ohjelmalla pystyy tekemään suurimman osan testeihin liittyvistä tehtävistä. Ohjelma sisältää käyttöliittymän, testijärjestyksen muutostyökalun, tietokannan hallinnan, testien evaluointirutiinit ja testien hallinnan. Tällä työkalulla käynnistetään ja suoritetaan testiryhmiä. /2/

4.1.2 Test Engine

Test Engine käsittää pääsyn koko testilaitteistoon ja se suorittaa testit Test Executiven lähettämien parametrien perusteella. Se hoitaa konfiguraatioiden latauksia, parametrien asetteluja IED:lle ja se kontrolloi kaikkia ATS-järjestelmän ulostuloja. Lopuksi ohjelmisto lähettää tulokset Test Executivelle. /2/

4.1.3 Test Editor

Kaikki testifunktiot valmistettiin Visual Basic -ohjelmalla toteutetulla Test Editor -ohjelmalla (**Kuvio 18.**), jolla voitiin lisätä tai muokata testejä ATS-tietokantaan. Ohjelma sisältää online-muokkaustyökalun valmiina oleville testeille, offline-työkalun testien muodostamiseksi ilman tietokantayhteyttä, keskeneräisten töiden tallennuksen ja latauksen sekä uusien testien kopioinnin vanhoista pohjista.



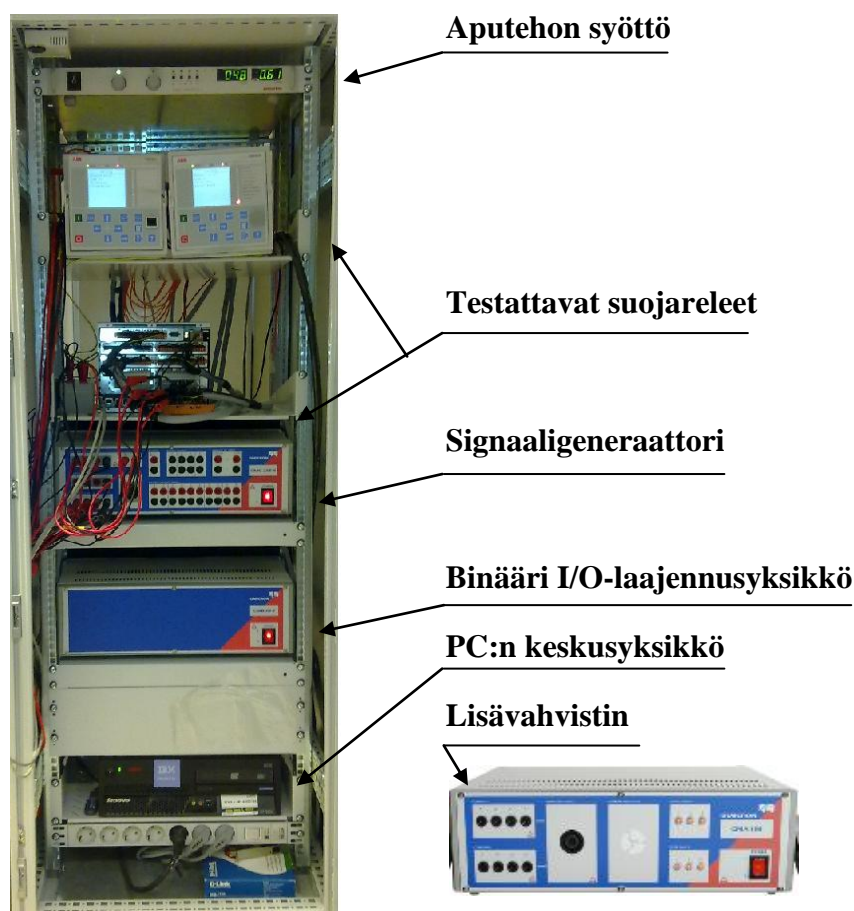
Kuvio 18. Test Editor -käyttöliittymä. /2//5/

4.1.4 Raportointityökalu

Raportointityökalua käytetään automaattisessa testausjärjestelmässä toimeen pantujen testien tulosten tarkasteluun. Testitulosten jälkeen tässä ohjelmassa hyväksytään tai hylätään suoritettut testiprojektit. Raportointityökalua käytetään Internet-selaimessa, jolla on mahdollista tutkia testien tilaa ja testiraportteja./2/

4.1.5 Laitteisto

ATS-laitteisto sisältää mm. signaaligeneraattorin, jolla on mahdollista syöttää analogisia virtoja ja jännitteitä. Lisäksi siinä on ohjattavia relelähtöjä, joista saadaan potentiaalivapaa kosketintieto. ATS-laitteisto vaatii tietokoneen testien toimeenpanoa varten Test Executive -ohjelman sekä kommunikaatiota varten käyttöliittymät testilaitteistolle ja testin kohteelle (**Kuvio 20.**). Lisäksi työssä käytettiin lisä vahvistinta standardin mukaisen testaamisen mahdollistamiseksi. /2/



Kuvio 20. ATS-laitteisto. /5/

4.2 Testit 1 ja 2: Toiminta-arvo ja palautumissuhde

Standardissa IEC 60255-151 kohdassa 6.2.1 määritetään testattavaksi toiminta-arvon tarkkuus ”accuracy of start value” ja kohdassa 6.2.2 palautumissuhteen määrittäminen ”reset ratio determination”. Nämä testit ovat määritettyinä standardissa erikseen, mutta järkevintä oli yhdistää testit yhdeksi testiksi, sillä molemmissa testeissä käytettiin samoja asetteluja. ATS-testi nimettiin ”operate value and reset ratio”.

Testaukset suoritettiin jokaiselle mahdolliselle tilanteelle ja kombinaatiolle suuntauksen ja hidastuksen mukaan

- vakioaikahidasteiselle ja käänteisaikahidasteiselle tyyppille
- jokaiselle vaihevirtamuuntajalle kaikki kerralla (IL1–IL2–IL3) ja yksitellen (IL1, IL2, IL3)
- eteen- ja taaksepäin suunnattuna
- suuntaamattomana.

Standardi määrittelee, että ominaisvirta täytyy säätää hitaasti start-ulostuloa tarkkaillen. Havahtumisarvon laskemiseen käytettiin taulukon 2 asetteluja. Siinä havahtumisarvo on määritettynä erisuuruiseksi riippuen testivirran suuruudesta. Testivirran ollessa $10 \times$ nimellisvirta (I_N), havahtumisarvoksi jouduttiin valitsemaan $0,9 \times I_N$. Taulukossa 2 esiintyvät 1,5 % ja 5 % ovat virtamuuntajan toision mittaukset tarkkuuksilla eri virroilla (LIITE 4). /6/

Testien suorittamiseksi start-arvona käytettiin $0,9 \times G_s$ ja $1,2 \times G_s$, koska silloin päästiin vähintään taulukon 2 arvojen ali ja yli molemmilla suojausportaila.

Taulukko 2. Suunnattujen ylivirtaportaiden testausasetteluväli. /5/

DPHLPDOC	DPHHPDOC	
$G_{1min} = 1 - (2 \times 1,5 \%)$	$G_{2min} = 1 - (2 \times 1,5 \%)$ 0,01...10×I _N	$G_{22min} = 1 - (2 \times 5 \%)$ 10...40×I _N
$G_{1max} = 1 + (2 \times 1,5 \%)$	$G_{2max} = 1 + (2 \times 1,5 \%)$ 0,01...10×I _N	$G_{22min} = 1 + (2 \times 5 \%)$ 10...40×I _N

Testin virta-askeleen tuli olla vähintään 10 kertaa pienempi kuin virtamuuntajan mittaustarkkuus, eli virta-askeleena käytettiin molemmilla portaila arvoa 0,15 % (accuracy). Nousunopeudeksi tuli asettaa 2–5 kertaa toiminta-aika. Releen lyhin toiminta-aika (operate time) on 20 ms, joten nousunopeudeksi asetettiin 0,1 s. Testit suoritettiin vähintään 5 kertaa tulosten luotettavuuden varmistamiseksi.

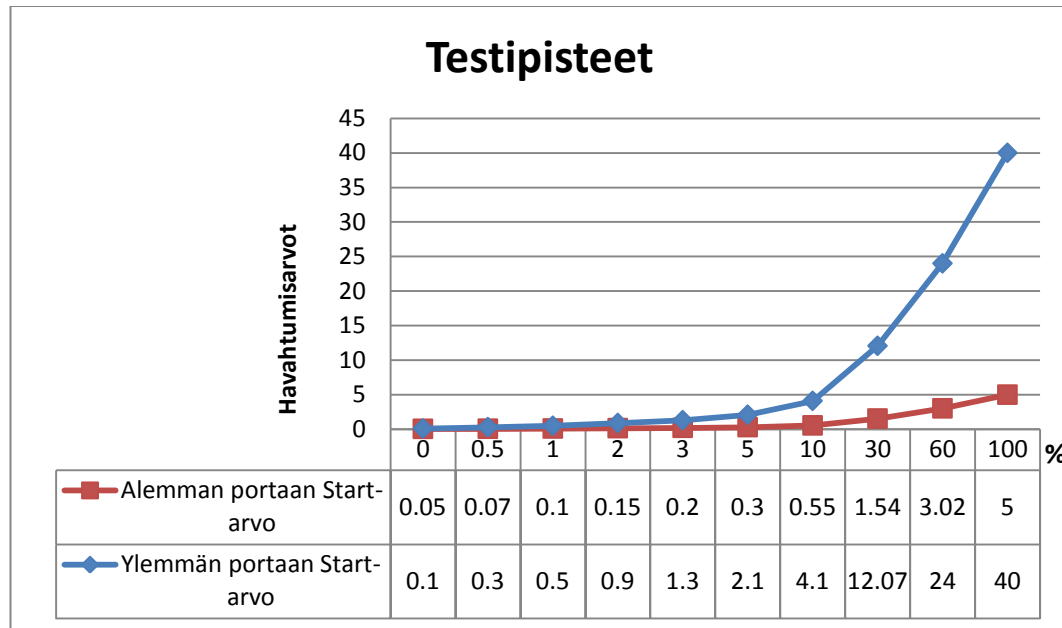
Palautumissuhteen määrittämiseksi suunnattu ylivirtalohko täytyi saada toimi- maan (operate), ja sen jälkeen ominaisvirta täytyi säätää hitaasti lohkoa tarkkaillen ilman tarkoituksellista viivästystä. Säätäminen tuli suorittaa siten, että toiminta- arvon aloitusarvo olisi vähintään 2 kertaa suurempi kuin virtamuuntajan tarkkuus (**Taulukko 2.** sarake 2, rivi 2). Askel ja askelaika olivat samoja kuin havahtu- misarvon testissä.

Esimerkiksi alemman portaan asetteluarvo oli 1 A, tarkkuus $\pm 1,5 \%$ ja havahtu- mis-/vapautusaika 20 ms. Silloin aloitus -ja lopetussuhteen oli oltava vähintään $0,97 \times G_s - 1,03 \times G_s$, askel on 0,0015 ja askelaika on 0,1 s. Testipisteiden mää- rittämiseen vaadittiin standardissa kuvion 19 mukaiset arvot. Testipisteiden tuli olla koko lohkon toiminta-alueella, eli havahtumisarvot määritettiin molemmille portaille: alemmalla portaalla $0,05 - 5,0 \times I_N$ ja ylemmällä $0,1 - 40,0 \times I_N$. /6/

Kaavalla 5 laskettiin standardin mukaiset testipisteet prosentteina ja havahtumisarvojen suhteina.

$$Start_{arvo} = (S_{MAX} - S_{MIN}) \times x + S_{MIN} \quad (5)$$

Kuviosta 19 nähdään selvästi, kuinka molemmat suojauslohkot täytyy testata aluksi hitaasti askelta kasvattaen ja lopuksi suurilla askelväleillä.



Kuvio 19. DPHxPDOc testipisteet ja havahtumisarvot. /5//6/

Lopuksi standardin kohdassa 6.2.2 vaadittiin laskemaan reset-suhde, minkä ATS generoi automaattisesti. Tähän käytettiin kaavaa 6, jossa I_{reset} on virta, jolla rele alkaa palautua ja I_{start} on havahtumiskynnys.

$$Reset\ ratio\ (\%) = (I_{reset}/I_{start}) \times 100 \quad (6)$$

4.2.1 Parametrit ja asettelut

Operate value and reset ratio -testin asettelut on esitetty taulukossa 3. Ensimmäisessä sarakkeessa on suomenkielinen parametriselitys, toisessa ATS-järjestelmässä käytetty nimi ja viimeisissä kahdessa sarakkeessa on suojauslohkoihin käytetyt testausarvot ja asettelut. Testit suoritettiin molemman suojausportaan vakioaikahidasteiselle releelle ja mittaustyyppille: tehollisarvon mittaukselle, huipusta huippuun mittaukselle ja diskreetti Fourier'n muunnosmittaukselle.

Taulukko 3. Operate and reset ratio -testin ATS-asettelut. /5//6/

		DPHLPDOC	DPHHPDOC
PARAMETRIT	ATS-nimi	Testausarvot	
Aloitus- ja lopetussuhde	start ratio	0,9 –	0,9 –
	stop ratio	1,15	1,15
Askelviive [s]	delay	0,1	0,1
Toistot	repeats	5	5
Askel [%]	accuracy	0,15	0,15
Start-arvot [A]	start value	0,05	0,1
		0,075	0,3
		0,1	0,5
		0,15	0,9
		0,2	1,3
		0,3	2,1
		0,55	4,1
		1,55	12,1
		3	24
		5	40

4.2.2 Testin tulos

Testiraportti on generoitu automaattisesti pdf-muodossa ATS Web Serveriltä. Esimerkkinä suuntaamattoman ylivirtasuojan testiraportista esitetään taulukossa 4, josta näkyy mm. testin asettelut, rajat sekä tulokset.

Taulukko 4. Operate value and reset ratio testiraportti. /2/

IEC 60255-151, DPHHPDOC, Test case 6.2.1.1, Operate value and reset ratio, RMS mode, phase IL1, non-dir



Parameters

ID	Name	Unit
Par1	Startvalue	pu

Results

No. ¹	Par ²	Result ³	Theor ⁴	Error ⁵	Error% ⁶	MinLim ⁷	MaxLim ⁸	P/F ⁹
1a	0.10	0.10005	0.1	0.00005	0.05	0.098	0.102	pass
2a	0.30	0.30015	0.3	0.00015	0.05	0.2955	0.3045	pass
3a	0.50	0.50025	0.5	0.00025	0.05	0.4925	0.5075	pass
4a	0.90	0.9018	0.9	0.0018	0.2	0.8865	0.9135	pass
5a	1.30	1.30065	1.3	0.00065	0.05	1.2805	1.3195	pass
6a	2.10	2.10105	2.1	0.00105	0.05	2.0685	2.1315	pass
7a	4.10	4.1082	4.1	0.0082	0.2	4.0385	4.1615	pass
8a	12.00	12.024	12.0	0.024	0.2	11.4	12.6	pass
9a	24.00	24.048	24.0	0.048	0.2	22.8	25.2	pass
10a	40.00	40.08	40.0	0.08	0.2	38.0	42.0	pass

¹Test point no. and type (a=OperValue), ²Parameter, ³Measured value, ⁴Theoretical value, ⁵Absolute error, ⁶Relative error, ⁷Minimum tolerance limit, ⁸Maximum tolerance limit, ⁹Pass/Fail

Test Summary

Reference ID	120222133324196-379
Tested	22.2.2012
Total number of measurements	10
Passed	10
Failed	0
Final Result	TEST PASSED

Operate value and reset ratio läpäisi testit IEC 60255-151-6.2 -standardin vaatimusten mukaisesti.

4.3 Testi 3: Toiminta- ja päästöaika

Standardin kohdassa 6.3 ”Determination of steady state errors related to the start and operate time” määritetään toiminta-ajan virheet. ATS-testi nimettiin ”IEC Definite/Inverse operate and disengaging time”.

Testi suoritettiin siten, että releelle syötettiin virtaa ilman tarkoituksellista hidastusta ja ilman DC-komponenttia. Syötetyn virran muutokset tuli tehdä vaihtovirran nollakohdissa, ja start- ja operate-ulostuloja täytyi tarkkailla. Testit tuli suorittaa jokaiselle vaihevirralle IL, IL2 ja IL3. /10/

Standardin mukaan testi tuli suorittaa kaikilla TMS-asetteluilla tai koko hidastusalueella eri toimintavirroilla taulukon 5 mukaan. Jokainen testipiste tuli suorittaa 5 kertaa testin luotettavuuden varmistamiseksi. Standardin vaatimaan loppuraporttiin otettiin mukaan 5 testin keskiarvo ja maksimiarvo. Operate-ulostulosta mitattiin toiminta-aikatarkkuudet, ja start-ulostulosta mitattiin havahtumisajat.

Taulukko 5. Lohkojen testipisteet käänteis- ja vakioaikaisina. /5//6/

Toiminta- hidastus [s]	TMS	Toimintavirta- asettelu (G_s) DHHPDOC [I _N]	Toimintavirta- asettelu (G_s) DHLPDO [I _N]	Testi- virran lähtö- arvo	Testi- virran loppuarvo (I/G_s)
0,040	0,05	0,1	0,05	0	1,2 x G_s
100,020	7,5	20,05	2,53	0	2 x G_s
200	15	40	5	0	5 x G_s
-	-	-	-	0	10 x G_s
-	-	-	-	0	20 x G_s

Standardien mukainen testaus vaati ATS-laboratoriossa uusia kytkentöjä, jotta oikeasuuruinen virta voitiin syöttää releelle. ATS-laboratoriossa oli mahdollista syöttää testifunktioille 12 A:iin asti, joten siitä suuremmilla virroilla olisi joutunut kytkemään virtalähtöjä rinnan riittävän virran suuruuden saavuttamiseksi. Maksimissaan testi olisi vaatinut 20-kertaista loppuvirran arvoa ylemmän lohkon suurimmalla asettelulla $G_S(40) \times \frac{I_N}{G_S}(20) = 800 \text{ A}$. Tämä testivirta olisi rikkonut virranmittauskanavien komponentit, myöskään testien jälkeiset virranmittaukset olisi enää luotettavia. Edellä mainitun takia testit tehtiin kaikille käänteisaikahidasteisille käyrille vain taulukon 5 ensimmäisen rivin toimintavirta-asettelun mukaan. Toiminta-aikatesteihin ei käytetty lisävahvistinta.

4.3.1 Parametrit ja asettelut

Operate and disengaging time -testin asetteluarvot ja parametrit ovat esitettynä taulukossa 6. Testit suoritettiin vakioaikahidasteiselle ja käänteisaikahidasteiselle releelle jokaisella eri suuntausvaihtoehdolla. Testin ylemmän ja alemman lohkon testausarvot eroavat toisistaan vain havahtumisarvon asettelussa (LIITE 3, s. 1 ja 2).

Taulukko 6. Operate and disengaging time -testin ATS-asettelut. /5//6/

		DPHLPDOC	DPHHPDOC
PARAMETRIT	ATS-nimi	Testausarvot	
Toistot	repeats	5	5
I/Gs	IGs	1,2	1,2
		2	2
		5	5
		10	10
		20	20
Toiminta-aika hidastus [ms]	operate time	40	40
		100020	10020
		200000	20000
Havahtumisarvo [A]	start value	0,05	0,1
		2,53	20,05
		5	40
Aikakerroin asetus (DT)	TMS	0.05	0.05
		7,5	7,5
		15	15

4.3.2 Testin tulos

Taulukossa 7 on esitettyä taaksepäin suunnatun ylemmän portaan testiraportti, jossa näkyvät testin arvot, rajat sekä tulokset.

Taulukko 7. Operate and disengaging time -testiraportti. /2/

Results									
No. ¹	Par1 ²	Par2 ²	Par3 ²	Min ³	Aver ⁴	Max ⁵	MinLim ⁶	MaxLim ⁷	P/F ⁸
1a	0.10	0.05	1.20	1.9529	1.95466	1.957	1.8203777	2.0119964	pass
1b	0.10	0.05	1.20	0.0234	0.02624	0.0279	0.0	0.05	pass
2a	0.10	0.05	2.50	0.3849	0.38676	0.3885	0.358486	0.398486	pass
2b	0.10	0.05	2.50	0.0317	0.0331	0.0348	0.0	0.05	pass
3a	0.10	0.05	5.00	0.2172	0.21814	0.219	0.193986	0.233986	pass
3b	0.10	0.05	5.00	0.0343	0.03648	0.038	0.0	0.05	pass
4a	0.10	0.05	10.00	0.1497	0.1513	0.1531	0.12853	0.16853	pass
4b	0.10	0.05	10.00	0.036	0.03768	0.0392	0.0	0.05	pass
5a	0.10	0.05	20.00	0.1138	0.11556	0.1181	0.093368	0.133368	pass
5b	0.10	0.05	20.00	0.0357	0.03654	0.0374	0.0	0.05	pass
6a	0.10	7.50	1.20	291.5107	291.52262	291.5328273	0.0566988	301.7995092	pass
6b	0.10	7.50	1.20	0.0242	0.0251	0.0274	0.0	0.05	pass
7a	0.10	7.50	2.50	56.9408	56.9426	56.946	53.9341876	59.6114705	pass
7b	0.10	7.50	2.50	0.0309	0.03302	0.0349	0.0	0.05	pass
8a	0.10	7.50	5.00	32.162	32.16354	32.1654	30.493006	33.7027961	pass
8b	0.10	7.50	5.00	0.036	0.03732	0.0387	0.0	0.05	pass
9a	0.10	7.50	10.00	22.3144	22.31528	22.3169	21.1655155	23.3934645	pass
9b	0.10	7.50	10.00	0.0351	0.03694	0.0379	0.0	0.05	pass
10a	0.10	7.50	20.00	17.0833	17.08464	17.088	16.1549144	17.8554317	pass
10b	0.10	7.50	20.00	0.0347	0.03742	0.0393	0.0	0.05	pass
11a	0.10	15.00	1.20	583.006	583.0319	583.0423546	1133976603	5990184	pass
11b	0.10	15.00	1.20	0.0262	0.02692	0.0276	0.0	0.05	pass
12a	0.10	15.00	2.50	113.863	113.86704	113.8705107	8683742119	2229399	pass
12b	0.10	15.00	2.50	0.0327	0.0339	0.0345	0.0	0.05	pass
13a	0.10	15.00	5.00	64.3175	64.31992	64.3218	60.986011	67.4055911	pass
13b	0.10	15.00	5.00	0.0352	0.03604	0.0376	0.0	0.05	pass
14a	0.10	15.00	10.00	44.6263	44.62772	44.6294	42.3310301	46.786928	pass
14b	0.10	15.00	10.00	0.0352	0.03668	0.0386	0.0	0.05	pass
15a	0.10	15.00	20.00	34.1688	34.17108	34.1725	32.3098287	35.7108633	pass
15b	0.10	15.00	20.00	0.0347	0.03596	0.0374	0.0	0.05	pass

¹Test point no. and type (a=OperTime, b=Reset time), ²Parameter, ³Minimum result, ⁴Average result, ⁵Maximum result, ⁶Minimum tolerance limit, ⁷Maximum tolerance limit, ⁸Pass/Fail

Measurements per test point = 5

Test Summary	
Reference ID	120221123947295-398
Tested	21.2.2012
Total number of measurements	150
Passed	150
Failed	0
Final Result	TEST PASSED

Operate and disengaging time läpäisi testit IEC 60255-151-6.3 -standardin vaatimusten mukaisesti.

4.4 Testi 4: Palautumisajan määrittäminen

Standardin kohdassa 6.4 ”Determination of steady state errors related to the reset time” vaaditaan määrittämään palautumisajan pysyvän tilan virheet. Virta täytyi säätää hitaasti siten, että rele havahtui. Kun rele oli havahtunut, testivirta täytyi säätää porrasmaisesti lähtöarvoon sekunnin ajaksi. Sen jälkeen testivirta tuli säätää loppuarvoon viiveettä ja samanaikaisesti releen ulostuloa tuli tarkkailla. Testaus suoritettiin standardin liitteen 1 mukaisesti.

ATS-testifunktio nimettiin Test Editorilla tietokantaan lyhyesti ”Reset time, IEC Inverse/Definite time”, jotta testin nimi ei olisi liian pitkä käsittelyä ja raporttia varten.

Testipisteiden tuli olla koko reset-hidastuksen asettelualueella tai TMS-asettelualueella erisuuruksilla toimintavirroilla kattaen koko vakioaikahidasteisen releen aika-alueen. Jokainen testipiste tuli suorittaa vähintään 5 kertaa. Testitulosten maksimi- ja minimiarvot tuli ottaa mukaan loppuraportin analyysiin. Taulukossa 8 määritettiin testifunktion testipisteet molemmille suunnatuille ylivirtaportaille. /9/

Taulukko 8. Lohkojen testipisteet käänteis- ja vakioaikaisina. /5//6/

Reset time [ms]	TMS	Toimintavirta- asettelu (G_s) DHHPDOC [I_N]	Toimintavirta- asettelu (G_s) DHLPDO [I_N]	Testi- virran lähtö- arvo	Testi- virran loppuarvo (I/G_s)
0	0,050	0,1	0,05	$2 \times G_s$	$0,8 \times G_s$
30000	7,5	20,05	2,53	$2 \times G_s$	$0,4 \times G_s$
60000	15	40	5	$2 \times G_s$	$0,2 \times G_s$
-	-	-	-	$2 \times G_s$	$0,1 \times G_s$
-	-	-	-	$2 \times G_s$	0

4.4.1 Parametrit ja asettelut

Reset time -testin asettelut ja parametrit ovat esitettyinä taulukossa 9. Siinä erikoista on muiden testien asetteluihin verrattuna rivillä 4 esiintyvä TheoValmformaava, jolla määritetään palautumisajan teoreettinen aika. Ylempi lohko testattiin 6 A:n testivirralla, koska testivirran lähtöarvo oli kaksi kertaa start-arvo ($2 \times G_s = 12 \text{ A}$). Tähän päädyttiin, koska ATS-järjestelmän syöttämän virran raja oli 12 A ilman lisävahvistinta. Testit suoritettiin vakioaikaisille ja käänteisaikaisille releille jokaisella eri suuntausvaihtoehdolla ja ilman suuntausta.

Taulukko 9. Reset time -testin ATS-asettelut. /5//6/

		DPHLPDOC	DPHHPDOC
PARAMETRIT	ATS-nimi	Testausarvot	
Toistot	repeats	5	5
Start-arvo [A]	start value	0,05	0,1
		2,53	20,05
		5	40
I/Gs	IGs	0,8	0,8
		0,4	0,4
		0,2	0,2
		0,1	0,1
		0	0
Teoreettinen palautumisaika [ms]	TheoVal-form	$\frac{Resetdelay}{1000}$	$\frac{Resetdelay}{1000}$
Toiminta-aikahidastus [ms]	operate time	40	40
		100020	100020
		200000	200000
Palautumisen hidastus	reset delay	0	0

[ms]		30000	30000
		60000	60000
Aikakerroinasetus (DT)	TMS	0,05	0,05
		7,5	7,5
		15	15

4.4.2 Testin tulos

Esimerkkinä Reset time -testin lopputuloksesta on esitettyä taulukko 10, jossa näkyvät testin arvot, rajat sekä tulokset.

Taulukko 10. Reset time -testiraportti. /2/

No. ¹	Par1 ²	Par2 ²	Par3 ²	Par4 ²	Min ³	Aver ⁴	Max ⁵	MinLim ⁶	MaxLim ⁷	P/F ⁸
1a	0.05	0.05	0.00	0.80	0.0313	0.0332	0.0342	-0.1	0.1	pass
2a	0.05	0.05	0.00	0.40	0.0276	0.0295	0.0312	-0.1	0.1	pass
3a	0.05	0.05	0.00	0.20	0.0265	0.0282	0.0299	-0.1	0.1	pass
4a	0.05	0.05	0.00	0.10	0.0267	0.0291	0.0304	-0.1	0.1	pass
5a	0.05	0.05	0.00	0.00	0.0262	0.0278	0.0298	-0.1	0.1	pass
6a	0.05	7.50	30000.00	0.80	30.032	30.0336	30.0352	27.0	33.0	pass
7a	0.05	7.50	30000.00	0.40	30.0276	30.0293	30.0323	27.0	33.0	pass
8a	0.05	7.50	30000.00	0.20	30.0265	30.0279	30.0302	27.0	33.0	pass
9a	0.05	7.50	30000.00	0.10	30.027	30.0282	30.0295	27.0	33.0	pass
10a	0.05	7.50	30000.00	0.00	30.0269	30.0285	30.0304	27.0	33.0	pass
11a	0.05	15.00	60000.00	0.80	60.0336	60.0351	60.0363	54.0	66.0	pass
12a	0.05	15.00	60000.00	0.40	60.0301	60.0309	60.033	54.0	66.0	pass
13a	0.05	15.00	60000.00	0.20	60.0274	60.0292	60.03	54.0	66.0	pass
14a	0.05	15.00	60000.00	0.10	60.0286	60.0299	60.0317	54.0	66.0	pass
15a	0.05	15.00	60000.00	0.00	60.0266	60.029	60.0314	54.0	66.0	pass
16a	2.53	0.05	0.00	0.80	0.0306	0.033	0.0342	-0.1	0.1	pass
17a	2.53	0.05	0.00	0.40	0.0275	0.0293	0.0312	-0.1	0.1	pass
18a	2.53	0.05	0.00	0.20	0.0263	0.0287	0.0305	-0.1	0.1	pass
19a	2.53	0.05	0.00	0.10	0.0256	0.027	0.0284	-0.1	0.1	pass
20a	2.53	0.05	0.00	0.00	0.0254	0.0272	0.0283	-0.1	0.1	pass
21a	2.53	7.50	30000.00	0.80	30.0328	30.0335	30.0345	27.0	33.0	pass
22a	2.53	7.50	30000.00	0.40	30.0291	30.0301	30.0313	27.0	33.0	pass
23a	2.53	7.50	30000.00	0.20	30.0268	30.0273	30.0277	27.0	33.0	pass
24a	2.53	7.50	30000.00	0.10	30.027	30.0294	30.0309	27.0	33.0	pass
25a	2.53	7.50	30000.00	0.00	30.0267	30.0276	30.0296	27.0	33.0	pass
26a	2.53	15.00	60000.00	0.80	60.0314	60.0337	60.035	54.0	66.0	pass
27a	2.53	15.00	60000.00	0.40	60.0293	60.0311	60.0329	54.0	66.0	pass
28a	2.53	15.00	60000.00	0.20	60.0288	60.0305	60.0315	54.0	66.0	pass
29a	2.53	15.00	60000.00	0.10	60.0267	60.029	60.0306	54.0	66.0	pass
30a	2.53	15.00	60000.00	0.00	60.0265	60.0288	60.0308	54.0	66.0	pass
31a	5.00	0.05	0.00	0.80	0.0323	0.0334	0.0351	-0.1	0.1	pass
32a	5.00	0.05	0.00	0.40	0.0271	0.029	0.0315	-0.1	0.1	pass
33a	5.00	0.05	0.00	0.20	0.0271	0.0288	0.03	-0.1	0.1	pass
34a	5.00	0.05	0.00	0.10	0.0255	0.0278	0.03	-0.1	0.1	pass
35a	5.00	0.05	0.00	0.00	0.0251	0.0265	0.0288	-0.1	0.1	pass
36a	5.00	7.50	30000.00	0.80	30.0306	30.0333	30.0355	27.0	33.0	pass
37a	5.00	7.50	30000.00	0.40	30.0294	30.03	30.0311	27.0	33.0	pass
38a	5.00	7.50	30000.00	0.20	30.0268	30.0286	30.0303	27.0	33.0	pass
39a	5.00	7.50	30000.00	0.10	30.0281	30.0292	30.0306	27.0	33.0	pass
40a	5.00	7.50	30000.00	0.00	30.0266	30.0282	30.0296	27.0	33.0	pass
41a	5.00	15.00	60000.00	0.80	60.0315	60.0333	60.036	54.0	66.0	pass
42a	5.00	15.00	60000.00	0.40	60.0283	60.0305	60.0322	54.0	66.0	pass
43a	5.00	15.00	60000.00	0.20	60.0296	60.0307	60.0321	54.0	66.0	pass
44a	5.00	15.00	60000.00	0.10	60.0271	60.0289	60.0313	54.0	66.0	pass
45a	5.00	15.00	60000.00	0.00	60.0271	60.0288	60.0306	54.0	66.0	pass

¹Test point no. and type (a=OperTimeDefinedPhaseShift), ²Parameter, ³Minimum result, ⁴Average result, ⁵Maximum result, ⁶Minimum tolerance limit, ⁷Maximum tolerance limit, ⁸Pass/Fail

Measurements per test point = 5

Test Summary	
Reference ID	120314103809588-531
Tested	14.3.2012
Total number of measurements	225
Passed	225
Failed	0
Final Result	TEST PASSED

Reset time läpäisi testit IEC 60255-151-6.4 -standardin vaatimusten mukaisesti.

4.5 Testi 5: Hetkellinen yliulottuma

Standardin kohdassa 6.5.2 ”Transient Overreach” määritetään poikkeavan virran aaltomuodon vaikutus lohkon start-arvon tarkkuuteen. ATS-testi nimettiin samoin kuin standardissa ”Transien overreach”.

Releen havahtumisarvoksi aseteltiin $0,9 \times I_N$. Testin aluksi virtaa nostettiin hiljaa siihen asti, että rele havahtui. Sen jälkeen virtaa laskettiin 2 % saadusta havahtumisarvosta. Testivirta laskettiin 0 A:iin ja nostettiin takaisin edellä olevaan arvoon ($0,9 A - 2 \%$). Testi läpäisi standardin kohdan 6.5, jos rele ei havahtunut. Jos rele havahtui, silloin säädettiin transientin amplitudia 2 % pienemmäksi ja suoritettiin edellä oleva testi uudelleen. /9/

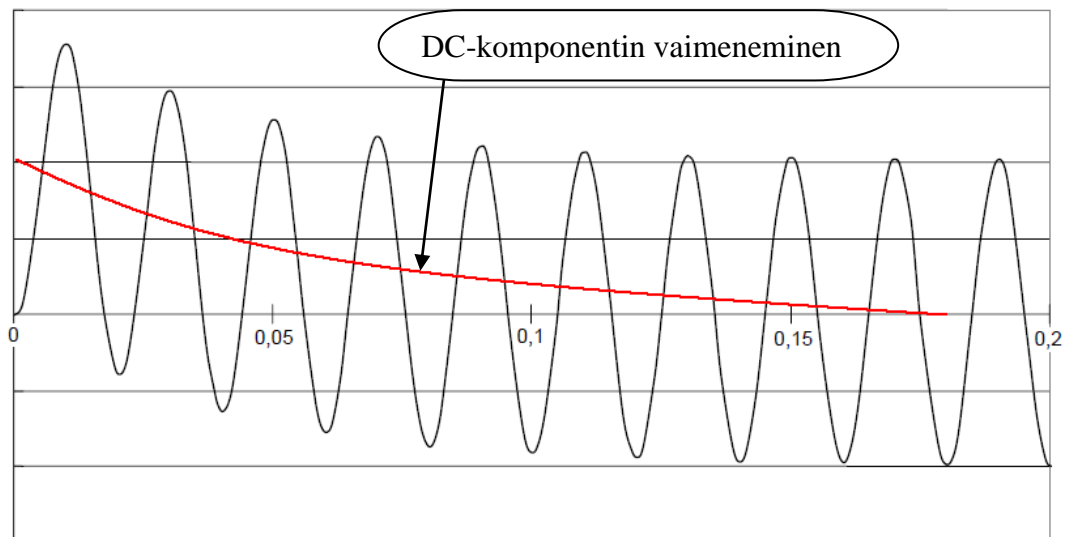
Kun testivirta oli saatu maksimiarvoonsa, testi tuli suorittaa maksimi DC-siirtymällä ja kolmella eri aikavakiolla:

- 10
- 40
- 120.

Testissä sovellettiin ATS-järjestelmässä entuudestaan olleita parametreja F_i ja τ , jotta voitiin määrittää kuvion 20 mukainen käyrämuoto eri X/R-suhteella.

X/R-suhde tarkoittaa standardissa määritettyä aikavakiota, ATS-järjestelmässä aikavakion X/R sijaan käytettiin τ -parametria. Käyrän aloituksen vaihekulmana käytettiin F_{ii} -parametria, jonka vaihekulmaksi määritettiin 270° , jotta testin tulos olisi luotettava myös pahimmissa mahdollisissa kytkentätilanteissa amplitudin ja DC-komponentin ollessa suurimmillaan. /6/

Kuviossa 20 on standardin ehdottama transientti-testin kulku 50 Hz:n taajuudella. Jokaisessa testissä DC-komponentti vaimeni eri aikavakion X/R -suhteella määritetyllä nopeudella.



Kuvio 20. Transient overreach -testin aaltomuoto. /5//6/

Testin päätteeksi voitiin laskea transientin yliulottuma prosentteina jokaisella aikavakion X/R -suhteella.

4.5.1 Parametrit ja asettelut

Transient overreach -testin asetteluarvot ovat esitettynä taulukossa 11. Siinä erona muihin testien asetteluihin ja parametreihin ovat mm. X/R-suhteen ja vaihekulman arvot. Testit suoritettiin vakioaikahidasteiselle releelle eteen- ja taaksepäin suunnattuna ja ilman suuntausta.

Taulukko 11. Transient overreach -testin ATS-asettelut. /5//6/

		DPHLPDOC	DPHHPDOC
PARAMETRIT	ATS-nimi	Testausarvot	
Aloitus- ja lopetussuhde	start ratio,	0,9 –	0,9 –
	stop ratio	2	2
Askelviive [s]	delay	0,1	0,1
Toistot	repeats	5	5
Askel [%]	accuracy	0,15	0,15
Start-arvot [A]	start value	1	1
X/R, aikavakio	Tau	10	10
		40	40
		120	120
Vaihekulma [deg]	Fii	270	270

4.5.2 Testin tulos

Taulukossa 12 on esitettyä esimerkkinä taaksepäin suunnattu Transient overreach -testiraportti. Siinä näkyvät testin parametrit, rajat sekä tulokset.

Taulukko 12. Transient overreach -testiraportti. /2/

IEC 60255-151, DPHHPDOC, Test case 6.5.23, Transient overreach (IEC Definite time), phase IL3, reverse



Parameters

ID	Name	Unit
Par1	Startvalue	pu
Par2	XR	
Par3	Fii	

Results

No. ¹	Par1 ²	Par2 ²	Par3 ²	Min ³	Aver ⁴	Max ⁵	MinLim ⁶	MaxLim ⁷	P/F ⁸
1a	1.00	10.000	270.000	1.5744	1.8543	2.1972	-0.5	20.0	pass
2a	1.00	40.000	270.000	1.8849	1.9784	2.0408	-0.5	20.0	pass
3a	1.00	120.000	270.000	3.7883	3.918	4.2753	-0.5	20.0	pass

¹Test point no. and type (a=TransientOverreach), ²Parameter, ³Minimum result, ⁴Average result, ⁵Maximum result, ⁶Minimum tolerance limit, ⁷Maximum tolerance limit, ⁸Pass/Fail

Measurements per test point = 5

Test Summary

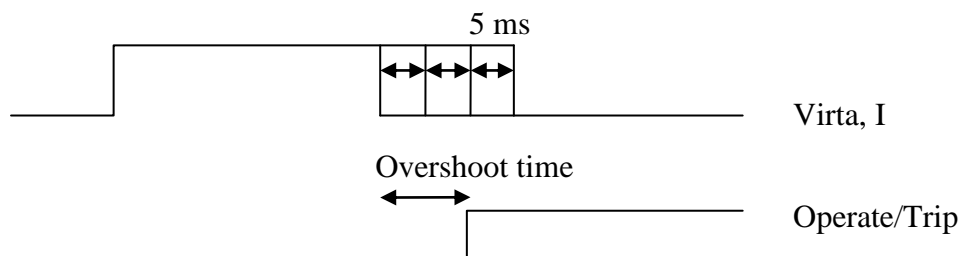
Reference ID	120309131750988-411
Tested	9.3.2012
Total number of measurements	15
Passed	15
Failed	0
Final Result	TEST PASSED

Transient overreach läpäisi testit IEC 60255-151-6.5.2 -standardin vaatimusten mukaisesti.

4.6 Testi 6: Toimintavirran ylittämisaika

Standardin kohdassa 6.5.3 "Overshoot time" testissä mitattiin ensin maksimitoiminta-aika, kun virta säädettiin 0:sta $2 \times G_s$:ään. Tämän jälkeen sama virta ($2 \times G_s$) johdettiin 5 ms lyhyemmän ajan kuin maksimitoiminta-aika. Lopuksi virta laskettiin 0 A:iin viiveettä. Jos releen toiminta havaittiin, virran syöttöaikaa vähennettiin edelleen 5 ms. Testiaikaa laskettiin siihen asti, että saatiin 5 onnistunutta testiä ilman releen laukaisua. Toiminta-ajan viiveenä käytettiin standardin mukaista aikaa 200 ms. ATS-testi nimettiin samoin kuin standardissa "Overshoot time".

Aikaeroa testivirran ajan ja releen mitatun toiminta-ajan välillä kutsutaan virran ylitysajaksi eli overshoot timeksi. Kuviossa 21 esitetään, kuinka virta säädetään nopeasti haluttuun arvoonsa ja sen jälkeen sisääntuloon johdettu virta lasketaan nolleen viiveettä. Kuviossa esiintyvä "trip" tarkoittaa lähtöreleen laukaisua, toisin sanoen rele toimii (operate). /6/



Kuvio 21. Toimintavirran ylittämisaika. /5/

4.6.1 Parametrit ja asettelut

Overshoot time -testin asetteluarvot ovat esitettyinä taulukossa 13. Aloitus- ja lopetussuhteeksi asetettiin kaavat taulukon 13 rivien 2 ja 3 mukaan. Toistoparametriksi asetettiin 1 ja läpäisykriteeriksi asetettiin 5, jotta ATS tekisi testit 5 kertaa. Toimintaviiveeksi asetettiin lohkojen suurin arvo 200 s (LIITE 3, s. 1 ja 2). Testit suoritettiin molemman lohkon vakioaikahidasteiselle releelle eteen- ja taaksepäin suunnattuna ja ilman suuntausta.

Taulukko 13. Overshoot time -testin ATS-asettelut. /5//6/

		DPHLPDOC	DPHHPDOC
PARAMETRIT	ATS-nimi	Testausarvot	
Aloitussuhde	start ratio	$\frac{\text{OperateDelay}}{1000} - 0,05$	
Lopetussuhde	stop ratio	$\frac{\text{OperateDelay}}{1000} + 0,05$	
Askelviive [s]	delay	0,1	0,1
Läpäisykriteeri	pass criteria	5	5
Toistot	repeats	1	1
Askel [%]	accuracy	0,002	0,002
Start-arvot [A]	start value	1	1
Toimintakerroin	ActFactor	5	5
Toimintaviive [s]	operate delay	200	200

4.6.2 Testin tulos

Taulukossa 14 on esitettyä taaksepäin suunnattu overshoot-testiraportti, jossa näkyy mm. testin asettelut, rajat ja tulokset.

Taulukko 14. Overshoot time -testiraportti. /2/

IEC 60255-151, DPHHPDOC, Test case 6.5.34, Overshoot time (IEC Definite time), phases IL1 IL2 IL3, forward



Parameters

ID	Name	Unit
Par1	OperateDelay	ms
Par2	Startvalue	pu
Par3	ActFactor	

Results

No. ¹	Par1 ²	Par2 ²	Par3 ²	Result ³	MinLim ⁷	MaxLim ⁸	P/F ⁹
1a	200	1.00	5.000	0.17	0.0	0.5	pass
1b	200	1.00	5.000	0.0304	0.0	0.04	pass

¹Test point no. and type (a=CriticalImpulseTime, b=ImpulseMarginTime), ²Parameter, ³Measured value, ⁴Theoretical value, ⁵Absolute error, ⁶Relative error, ⁷Minimum tolerance limit, ⁸Maximum tolerance limit, ⁹Pass/Fail

Test Summary

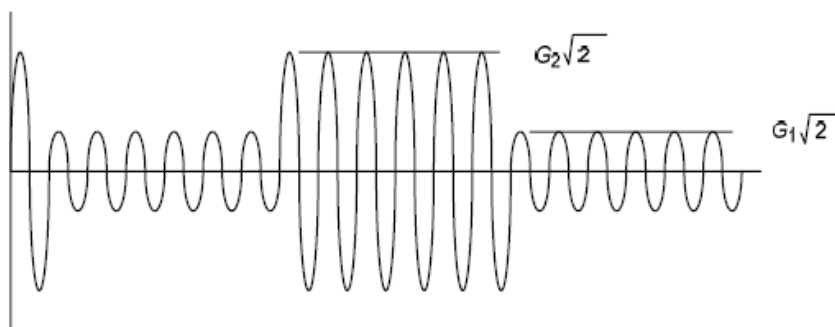
Reference ID	120309123812927-416
Tested	9.3.2012
Total number of measurements	2
Passed	2
Failed	0
Final Result	TEST PASSED

Overshoot time läpäisi testit IEC 60255-151-6.5.3 -standardin vaatimusten mukaisesti.

4.7 Testi 7: Ajan suhteen muuttuvan virran vaikutus

Standardin osassa 6.5.4 ”Response to time varying value of the characteristic quantity for dependent time relay” määritetään vaihtelevan virran amplitudin vaikutus käänteisaikareleeseen. ATS-testi nimettiin lyhyesti ”G1 G2 test”.

Testin aaltomuoto täytyi olla kuvion 21 mukainen moduloitu kanttiaalto, joka ha-
luttiin muuttuvan sinikäyrän nollakohdassa. Kuviossa esiintyvät G_1 ja G_2 ovat vir-
ran aseteltuja tehollisarvoja (G_s) $\sqrt{2}$:lla kerrottuna. Arvojen suuruudet valittiin
sitte, että releen toiminta-aika oli suurempi kuin moduloivan kanttiaallon jakson
aika. /6/



Kuvio 22. Testin aaltomuoto. /6/

Moduloivan kanttiaallon taajuus ei saanut olla 1/10 suurempi kuin sähköverkon
siniaallon taajuus (50 Hz), jotta transientti-ilmiö ei vaikuttanut toiminta-aikaan.
Moduloivan kanttiaallon jakson pituuden täytyi olla vähintään 200 ms, koska 50
Hz:n sähköverkon siniaallon jakson aika on 20 ms.

Edellä mainittujen vaatimusten mukaisen teoreettisen toiminta-ajan T_0 määrittämiseksi standardi määräsi kaavan 7

$$T_0 = \frac{2 \times T_2 \times T_1}{T_2 + T_1} \quad (7)$$

,jossa

T_1 on toiminta-aika toimintavirralla G_1

T_2 on toiminta-aika toimintavirralla G_2

Suosittelut arvot ajallisesti muuttuville virroille on annettu taulukossa 15. Mitatut toiminta-ajat saivat poiketa enintään 15 % taulukossa 18 esitetystä toiminta-ajasta T_0 . Käyrät A–F ovat määriteltynä liitteessä 1 sivun 1 sarakkeessa ”Commonly used name”, tarkoittaen käännteisaikahidasteista tyyppiä.

Taulukko 15. Standardin määäämät testiarvot. /5//6/

Käyrä	TMS	G_1	G_2	T_1 [s]	T_2 [s]	T_0 [s]
A	1	$2 \times G_s$	$5 \times G_s$	10,03	4,28	6,00
B	1	$2 \times G_s$	$5 \times G_s$	13,50	3,38	5,40
C	1	$2 \times G_s$	$5 \times G_s$	26,67	3,33	5,93
D	1	$2 \times G_s$	$5 \times G_s$	3,80	1,69	2,34
E	1	$2 \times G_s$	$5 \times G_s$	7,03	1,31	2,21
F	1	$2 \times G_s$	$5 \times G_s$	9,52	1,30	2,28

4.7.1 Parametrit ja asettelut

G1 G2 test -testin asetteluarvot ovat esitettyinä taulukossa 16. Siinä erona muihin testien asetteluihin ja parametreihin ovat mm. toiminta-aikojen määitykset sekä toleranssiasettelu. Testien parametointi suoritettiin molemmille lohkoille samoilla arvoilla, joten taulukossa on esitettyinä vain suunnatun ylivirtalohkon yleinen tunnus DPHxPDOC. Testit suoritettiin käänteisaikahidasteisille käyrille eteenpäin suunnattuna.

Taulukko 16. G1 G2 test -testin ATS-asettelut. /5//6/

		DPHxPDOC
PARAMETRIT	ATS-nimi	Testausarvot
Toimintakäyrän tyyppi	operating curve type	Inverse
		9
		Very Inverse
		10
		Extremely Inverse
		12
Aikakerroinasetus	TMS	1
Toiminta-aika T_0 [s]	operate criteria	Inverse
		6
		Very Inverse
		5,4
		Extremely Inverse
		5,93
Suuntaustyyppi	directional mode	2
Toleranssi [%]	tolerance	15

4.7.2 Testin tulos

Taulukossa 17 on esitettyä esimerkkinä I_{L1} vaihevirran eteenpäin suunnattu Very Inverse -käyrän G1 G2 test -testiraportti, jossa näkyy mm. toiminta-aika T_0 ja testin tulokset.

Taulukko 17. G1 G2 test -testiraportti. /2/

IEC 60255-151, DPHHPDOC, Test case 6.5.4.4, G1 G2 test, IEC Very Inverse, phase L1, forward



Test results

SEQUENCE #1

Type	Name	Value
------	------	-------

Response

Type	Result
Test equipment events	START;BI16;1;0.0391 / OPERATE;BI12;1;6.1352 / START;BI16;0;10.0225 / OPERATE;BI12;0;10.0241 /
Communication events	

Criteria check

Type	Name	Exp val	Act val	Min	Max	P/F
BIN event [ts]	OPERATE	5.4	6.1352		4.59	6.21
BIN event [ts]	OPERATE	1	1			

Test Summary

Attribute	Value
Start Time:	23.3.2012 13:52:16
Stop Time:	23.3.2012 13:53:01
Duration:	0 00:00:44
Total Results:	1
Passed:	1
Failed:	0
Ignored:	0
Tolerances:	±15.0%
Final Result:	TEST PASSED

G1 G2 test läpäisi testit IEC 60255-151-6.5.2 -standardin vaatimusten mukaisesti.

5 LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä IEC 60255-151 -standardiin, joka käsittelee mittaavien releiden ja suojaavien laitteiden yli- ja alivirtasuojauksen toiminnallisuutta. Standardiin perehtymisen jälkeen aloitettiin testifunktioiden valmistus ATS-järjestelmään kuuluvalla Test Editor -ohjelmalla, jossa aseteltiin tarvittavat kaavat, parametrit ja asettelut. Työssä jouduttiin lukemaan useita asiakirjoja samanaikaisesti, koska tarvittava tieto oli pirstalemaista. Tärkeimmiksi tietolähteiksi muodostuivat REF615-johdonsuojareleen teknillinen manuaali, IEC 60255-151 -standardi ja ATS-järjestelmän dokumentit, joista sai tarvittavan tiedon testien ohjelmoimiseen.

Testifunktioiden testaamiseen käytettiin ATS-laitteistoa, jolla voitiin simuloida sähköverkon ilmiöitä, vikatilanteita ja kytkentätilanteita. Testien toimeenpanevana ohjelmalla käytettiin Test Executive -ohjelmaa, jolla voitiin käynnistää ja lopettaa testejä. Testaamisen jälkeen ATS-järjestelmällä oli mahdollista generoida automaattinen testiraportti selainpohjaiselle Web Server -sivulle, jossa voitiin tarkastella tuloksia reaaliaikaisesti.

Opinnäytteen teko oli ajoittain haasteellista, koska ATS-järjestelmän ymmärtäminen ja käyttäminen vaati huomattavasti aikaa, eikä tarvittavia tietoja välttämättä ole dokumentoitu lainkaan. Myös standardin lukeminen ja ymmärtäminen tuotti aluksi ongelmia, koska erikoissanasto ja passiivirakenne tekivät lukemisesta hädästä. Sen sijaan releen sisäisen toiminnan ymmärtämiseen opinnäytteen teossa ei kulunut paljoa aikaa.

Työn viimeinen testi oli kaikkein haastavin, koska uuden koodin tekeminen tietokantaan olisi vaatinut vaativaa asiantuntemusta tietokannasta ja testiohjelmiston käyttäytymisestä. Tarvittava koodi saatiin tehtyä työpaikan opinnäytetyöohjaajan avulla, jonka jälkeen oli mahdollista tehdä viimeinen testifunktio Test Editor -ohjelmalla. Toiseksi suureksi ongelmaksi muodostui testivirtojen syöttäminen releelle, koska standardin vaatimukset testivirran suuruudelle olivat ATS-laitteistolle liikaa. Testit päätettiin suorittaa niin, että toiminta-arvotestit tehtiin standardin mukaisesti 40 A:iin asti, ja toiminta-aikatestit 12 A:iin asti.

Toiminta-arvotesteihin kytkettiin lisävahvistin signaaligeneraattorin rinnalle, koska ATS-laitteiston sisältämä signaaligeneraattori pystyi yksin syöttämään virtaa 12 A:iin asti. Toiminta-aikatesteihin ei käytetty lisävahvistinta, koska lisävahvistimen saatavuus opinnäytetyön tekoa varten oli rajattua ja suuren virran aiheuttama järjestelmän liika kuumeneminen olisi tullut ongelmaksi.

Testaaminen sujui hyvin, koska testien aikana ei esiintynyt suuria ongelmia ja testifunktiot oli suurimmalta osiltaan tehty oikein. Toisaalta testaamisen ongelmaksi muodostuivat testien erilaiset asettelut ja parametrit: samalla ATS-parametrilla saattoi olla monta merkitystä, testistä riippuen.

Testien jälkeen oli tulosten tarkastusvaihe, jossa tarkistettiin testien läpäisy IEC-standardin mukaan. Testitulokset läpäisivät IEC 60255-151 -standardin asettamat vaatimukset.

Opinnäytetyön tärkein saavutus oli, että nyt ABB:llä on testattu ensimmäinen suojauslohko IEC 60255-151 -standardissa vaaditulla tavalla. Tämän opinnäytetyön jälkeen ABB vahvistaa kilpailuasetelmaansa, koska voidaan todistaa asiakkaille suunnatun ylivirtalohkon suojauksen toimivuuden standardin mukaisesti. Lisäksi tietyin muutoksin opinnäytetyössä valmistetut testifunktiot voidaan hyödyntää muiden suojauslohkojen testeissä.

LÄHTEET

- /1/ ABB Oy:n Internet-sivut. Viitattu 12.2.2012.
<http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/7b5c362e202418ffc2256b20004e853f.aspx>
- /2/ ABB Oy:n sisäiset dokumentit ja Internet-sivut.
- /3/ ABB Oy. 2010. Relion® Protection and Control 615 series, Technical Manual. 4.1.2, Three-phase directional overcurrent protection DPHxPdoc, 125–147.
- /4/ Feeder Protection and Control REF615 IEC. Viitattu 28.2.2012.
<http://www.abb.com/product/db0003db004281/c12573e700330419c12573cc00431e30.aspx>
- /5/ Haverinen, P. 2012. Viitattu 20.3.2012.
- /6/ IEC 60255-151. International Standard. Measuring relays and protection equipment – part 151: Funktional requirements for over/under current protection.
- /7/ IEC 60255-1. International Standard. Measuring relays and protection equipment – part : Common requirements.16, 18, 32 s.
- /8/ IEC-organisaation Internet-sivut. Viitattu 27.3.2012.
<http://www.iec.ch/about/activities/>
- /9/ Johdonsuojarele REF615-esite. Viitattu 28.2.2012.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/16d986d2754c9e35c12574f300419948/\\$file/REF615_broch_756572_LRF1b.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/16d986d2754c9e35c12574f300419948/$file/REF615_broch_756572_LRF1b.pdf)
- /10/ Mäkinen, O. Relesuojaus. Vaasan Ammattikorkeakoulu. 25 s.
- /11/ Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja luku 10.4.2000. Viitattu 27.2.2012.
http://heikki.pp.fi/abb/101_0007.pdf

Annex B (informative)

Reset time determination for relays with trip output only

B.1 General

Measuring relays and protection equipment have different output configurations. For equipment that has only a trip output the determination of a dependent reset time can be achieved by many different methods. The following clause describes an example of such a test method.

B.2 Test method

The determination of the reset time for relays without an appropriate contact can be achieved using the following method to determine a basic accuracy of the reset time. A current of twice the setting is applied to the relay for a pre-determined length of time such that the unit does not operate but will have reached 90 % of its trip value. The current is then reduced instantaneously to a pre-determined value below setting for a fixed time. After this time has elapsed, the current is instantaneously increased to twice the setting value until the element trips. The trip time is determined based on the value of the internal integrator. This is shown graphically in Figure B.1. The test method is repeated with the applied current being reduced to a different value on each occasion. This generates a range of trip times from which the reset times can be extrapolated and with sufficient points a reset curve can be created.

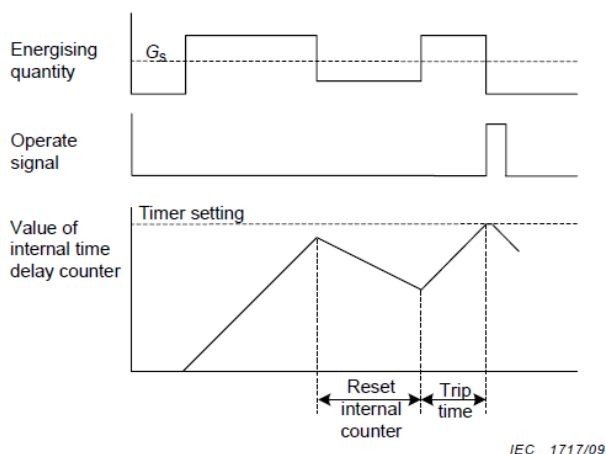


Figure B.1 – Dependent reset time determination

5.2.1.2 Secondary relay

The preferred rated values of a.c. voltages, in r.m.s. value, are in line with IEC 60044-2 and IEC 60044-5 and are given below, together with those values multiplied by $1/3$ or $\sqrt{3}$ or $1/\sqrt{3}$.

100 V; 110 V; 115 V; 120 V; 200 V; 220 V; 230 V

For equipment compatible with electronic voltage transformers (e.g. low power analogue VT), the preferred values shall be those stated in IEC 60044-7.

5.2.1.3 Shunt relay

The preferred rated values of d.c. voltages are given below:

30 mV; 45 mV; 50 mV; 60 mV; 75 mV; 100 mV; 150 mV; 200 mV; 300 mV; 600 mV.

5.2.2 Auxiliary energizing voltage

5.2.2.1 AC voltage

The preferred rated values of a.c. voltages, in r.m.s. value, are given below, together with those values multiplied by $\sqrt{3}$ or $1/\sqrt{3}$:

100 V; 110 V; 115 V; 120 V; 200 V; 230 V

5.2.2.2 DC voltage

The preferred rated values of d.c. voltages are given below:

12 V; 24 V; 48 V; 60 V; 110 V; 125 V; 220 V; 250 V.

5.2.2.3 Operating range

The preferred operating range is 80 % to 110 % of the rated voltage.

5.2.3 Rated insulation voltage

The rated insulation voltage of one or all of the circuits of the equipment shall be chosen from the values stated in IEC 60255-27.

5.3 Rated current

5.3.1 Input energizing current

5.3.1.1 Primary relay

Manufacturer shall declare rated values for a.c. or d.c. currents.

5.3.1.2 Secondary relay

The preferred rated values of a.c. currents, in r.m.s. value, are in line with IEC 60044-1 and are 1 A or 5 A.

For equipment compatible with electronic current transformers (e.g. low power analogue CT), the preferred values shall be those stated in IEC 60044-8.

6 Design and construction

6.1 Marking

The equipment shall be marked in accordance with IEC 60255-27.

6.2 Dimensions

The manufacturer shall declare the dimensions of the equipment. However, where the equipment is rack mounted then the dimensions should be in accordance with IEC 60297-3-101.

6.3 Enclosure protection

The equipment shall meet the requirements of IEC 60255-27.

6.4 Product safety requirements

The equipment shall comply with the requirements of IEC 60255-27.

NOTE The product safety requirements include the dielectric tests and thermal short time ratings.

6.5 Functional performance requirements

6.5.1 General

The protection function operation is specified in the functional standards (see the IEC 60255-100 series).

The accuracy requested in the functional standards shall take into account the requirements of 6.5.2 to 6.5.5 unless the functional standard defines a specific alternative definition. In all cases, the manufacturer shall state the limitations on their supplied equipment, i.e. operating time measured from applied voltage and current to output contact operation.

6.5.2 Intrinsic accuracy

6.5.2.1 General

An assigned error of the equipment under the test reference conditions as stated in Table 10 shall be declared by the manufacturer. The actual measurement errors of the equipment shall be less than or equal to the declared value of assigned error under these conditions taking into account the test equipment uncertainty.

When the accuracy is expressed as a percentage it should be expressed as a number selected from the following series:

0,2 %; 0,5 %; 1,0 %; 1,5 %; 2,5 %; 5,0 %; 7,5 %; 10 %; 20 %.

NOTE Annex B gives explanations about intrinsic accuracy and operating accuracy.

The maximum current for equipment operation within its stated accuracy shall be declared by the manufacturer.

6.5.2.2 Accuracy relating to the characteristic quantity

The relay measuring accuracy related to the characteristic quantity as defined in the IEC 60255-100 series shall be expressed as a maximum error. The maximum error shall be verified from 5 consecutive measurements.

7.2 Test reference conditions

Unless otherwise specified, all tests shall be carried out under the conditions stated in Table 10.

Table 10 – Test reference conditions

Influence quantity	Reference conditions
Operating temperature	20 °C ± 5 °C
Relative humidity	45 % to 75 % RH
Atmospheric pressure	86 kPa to 106 kPa
Auxiliary supply voltage	Rated power supply voltage ±1 %
Residual voltage ^a	≤1,0 %
External continuous magnetic field	Induction equal to or less than 0,5 mT
D.c. component on a.c. voltage and current	As specified in lower level documents
Alternating component in d.c. auxiliary energizing quantities	Peak-ripple factor of 0 % to 15 % of rated d.c. values in accordance with IEC 60255-11.
Waveform	Sinusoidal, distortion factor 5% ^b
Frequency	Rated frequency (50 Hz or 60 Hz) ±0,2 %
^a The vector sum, in a multi-phase system, of all the line-to-earth voltages. ^b Distortion factor: ratio of the harmonic content obtained by subtracting the fundamental wave from a non-sinusoidal harmonic quantity and the r.m.s. value of the non-sinusoidal quantity. It is usually expressed as a percentage.	

4.1.2.9 Settings

Table 135: DPHLPDOC Group settings

Parameter	Values (Range)	Unit	Step	Default	Description
Start value	0.05...5.00	xIn	0.01	0.05	Start value
Start value Mult	0.8...10.0		0.1	1.0	Multiplier for scaling the start value
Time multiplier	0.05...15.00		0.05	1.00	Time multiplier in IEC/ANSI IDMT curves
Operate delay time	40...200000	ms	10	40	Operate delay time
Operating curve type	1=ANSI Ext. inv. 2=ANSI Very inv. 3=ANSI Norm. inv. 4=ANSI Mod. inv. 5=ANSI Def. Time 6=L.T.E. inv. 7=L.T.V. inv. 8=L.T. inv. 9=IEC Norm. inv. 10=IEC Very inv. 11=IEC inv. 12=IEC Ext. inv. 13=IEC S.T. inv. 14=IEC L.T. inv. 15=IEC Def. Time 17=Programmable 18=RI type 19=RD type			15=IEC Def. Time	Selection of time delay curve type
Type of reset curve	1=Immediate 2=Def time reset 3=Inverse reset			1=Immediate	Selection of reset curve type
Voltage Mem time	0...3000	ms	1	40	Voltage memory time
Directional mode	1=Non-directional 2=Forward 3=Reverse			2=Forward	Directional mode
Characteristic angle	-179...180	deg	1	60	Characteristic angle
Max forward angle	0...90	deg	1	80	Maximum phase angle in forward direction
Max reverse angle	0...90	deg	1	80	Maximum phase angle in reverse direction
Min forward angle	0...90	deg	1	80	Minimum phase angle in forward direction
Min reverse angle	0...90	deg	1	80	Minimum phase angle in reverse direction
Pol quantity	-2=Pos. seq. volt. 1=Self pol 4=Neg. seq. volt. 5=Cross pol			5=Cross pol	Reference quantity used to determine fault direction

Table 136: DPHLPDOC Non group settings

Parameter	Values (Range)	Unit	Step	Default	Description
Operation	1=on 5=off			1=on	Operation Off / On
Num of start phases	1=1 out of 3 2=2 out of 3 3=3 out of 3			1=1 out of 3	Number of phases required for operate activation
Minimum operate time	20...60000	ms	1	20	Minimum operate time for IDMT curves
Reset delay time	0...60000	ms	1	20	Reset delay time
Measurement mode	1=RMS 2=DFT 3=Peak-to-Peak			2=DFT	Selects used measurement mode
Curve parameter A	0.0086...120.0000			28.2000	Parameter A for customer programmable curve
Curve parameter B	0.0000...0.7120			0.1217	Parameter B for customer programmable curve
Curve parameter C	0.02...2.00			2.00	Parameter C for customer programmable curve
Curve parameter D	0.46...30.00			29.10	Parameter D for customer programmable curve
Curve parameter E	0.0...1.0			1.0	Parameter E for customer programmable curve
Allow Non Dir	0=False 1=True			0=False	Allows prot activation as non-dir when dir info is invalid
Min operate current	0.01...1.00	xIn	0.01	0.01	Minimum operating current
Min operate voltage	0.01...1.00	xUn	0.01	0.01	Minimum operating voltage

Table 137: DPHHPDOC Group settings

Parameter	Values (Range)	Unit	Step	Default	Description
Start value	0.10...40.00	xIn	0.01	0.10	Start value
Start value Mult	0.8...10.0		0.1	1.0	Multiplier for scaling the start value
Directional mode	1=Non-directional 2=Forward 3=Reverse			2=Forward	Directional mode
Time multiplier	0.05...15.00		0.05	1.00	Time multiplier in IEC/ANSI IDMT curves
Operating curve type	1=ANSI Ext. inv. 3=ANSI Norm. inv. 5=ANSI Def. Time 9=IEC Norm. inv. 10=IEC Very inv. 12=IEC Ext. inv. 15=IEC Def. Time 17=Programmable			15=IEC Def. Time	Selection of time delay curve type
Type of reset curve	1=Immediate 2=Def time reset 3=Inverse reset			1=Immediate	Selection of reset curve type
Operate delay time	40...200000	ms	10	40	Operate delay time
Characteristic angle	-179...180	deg	1	60	Characteristic angle
Table continues on next page					

Parameter	Values (Range)	Unit	Step	Default	Description
Max forward angle	0...90	deg	1	80	Maximum phase angle in forward direction
Max reverse angle	0...90	deg	1	80	Maximum phase angle in reverse direction
Min forward angle	0...90	deg	1	80	Minimum phase angle in forward direction
Min reverse angle	0...90	deg	1	80	Minimum phase angle in reverse direction
Voltage Mem time	0...3000	ms	1	40	Voltage memory time
Pol quantity	-2=Pos. seq. volt. 1=Self pol 4=Neg. seq. volt. 5=Cross pol			5=Cross pol	Reference quantity used to determine fault direction

Table 138: DPHHPDOC Non group settings

Parameter	Values (Range)	Unit	Step	Default	Description
Operation	1=on 5=off			1=on	Operation Off / On
Reset delay time	0...60000	ms	1	20	Reset delay time
Minimum operate time	20...60000	ms	1	20	Minimum operate time for IDMT curves
Allow Non Dir	0=False 1=True			0=False	Allows prot activation as non-dir when dir info is invalid
Measurement mode	1=RMS 2=DFT 3=Peak-to-Peak			2=DFT	Selects used measurement mode
Min operate current	0.01...1.00	xIn	0.01	0.01	Minimum operating current
Min operate voltage	0.01...1.00	xUn	0.01	0.01	Minimum operating voltage
Curve parameter A	0.0086...120.0000			28.2000	Parameter A for customer programmable curve
Curve parameter B	0.0000...0.7120			0.1217	Parameter B for customer programmable curve
Curve parameter C	0.02...2.00			2.00	Parameter C for customer programmable curve
Curve parameter D	0.46...30.00			29.10	Parameter D for customer programmable curve
Curve parameter E	0.0...1.0			1.0	Parameter E for customer programmable curve
Num of start phases	1=1 out of 3 2=2 out of 3 3=3 out of 3			1=1 out of 3	Number of phases required for operate activation

Technical data

Table 141: DPHxPDOC Technical data

Characteristic		Value		
Operation accuracy	DPHLPDOC	Depending on the frequency of the current/ voltage measured: $f_n \pm 2$ Hz		
		Current: $\pm 1.5\%$ of the set value or $\pm 0.002 \times I_n$ Voltage: $\pm 1.5\%$ of the set value or $\pm 0.002 \times U_n$ Phase angle: $\pm 2^\circ$		
	DPHHPDOC	Current: $\pm 1.5\%$ of the set value or $\pm 0.002 \times I_n$ (at currents in the range of $0.1 \dots 10 \times I_n$) $\pm 5.0\%$ of the set value (at currents in the range of $10 \dots 40 \times I_n$) Voltage: $\pm 1.5\%$ of the set value or $\pm 0.002 \times U_n$ Phase angle: $\pm 2^\circ$		
Start time ¹⁾²⁾	$I_{\text{Fault}} = 2.0 \times \text{set Start value}$	Minimum	Typical	Maximum
		37 ms	40 ms	42 ms
Reset time		< 40 ms		
Reset ratio		Typical 0.96		
Retardation time		< 35 ms		
Table continues on next page				

Table 558: Power supply

Description	Type 1	Type 2
$U_{aux,nominal}$	100, 110, 120, 220, 240 V AC, 50 and 60 Hz	24, 30, 48, 60 V DC
	48, 60, 110, 125, 220, 250 V DC	
$U_{aux,variation}$	38... 110% of U_n (38...264 V AC)	50... 120% of U_n (12...72 V DC)
	80... 120% of U_n (38.4...300 V DC)	
Start-up threshold		19.2 V DC (24 V DC * 80%)
Burden of auxiliary voltage supply under quiescent (P_q)/ operating condition	DC < 12.0 W (nominal)/< 18.0 W (max) AC < 16.0 W (nominal)/< 21.0 W (max)	DC < 12.0 W (nominal)/< 18.0 W (max)
Ripple in the DC auxiliary voltage	Max 15% of the DC value (at frequency of 100 Hz)	
Maximum interruption time in the auxiliary DC voltage without resetting the IED	30 ms at V_n rated	
Fuse type	T4A/250 V	

Table 559: Energizing inputs

Description		Value	
Rated frequency		50/60 Hz	
Current inputs	Rated current, I_n	0.2/1 A ¹⁾²⁾	1/5 A ³⁾
	Thermal withstand capability:		
	• Continuously	4 A	20 A
	• For 1 s	100 A	500 A
	Dynamic current withstand:		
	• Half-wave value	250 A	1250 A
	Input impedance	<100 mΩ	<20 mΩ
Voltage inputs	Rated voltage	60...210 V AC	
	Voltage withstand:		
	• Continuous	2 x U_n (240 V AC)	
	• For 10 s	3 x U_n (360 V AC)	
	Burden at rated voltage	<0.05 VA	

1) Ordering option for residual current input

2) Not available for RET615 and REU615

3) Residual current and/or phase current

Table 560: Energizing inputs

Description		Value
Current sensor input	Rated current voltage (in secondary side)	75 mV...2812.5 mV ¹⁾
	Continuous voltage withstand	125 V
	Input impedance at 50/60 Hz	2-3 MOhm ²⁾
Voltage sensor input	Rated voltage	6 kV...30 kV ³⁾
	Continuous voltage withstand	50 V
	Input impedance at 50/60 Hz	3 MOhm

1) Equals the current range of 40A - 1250A with a 80A, 3mV/Hz Rogowski

2) Depending on the used nominal current (hardware gain)

3) This range is covered (up to 2*rated) with sensor division ratio of 10 000 : 1

